This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

ÉCLAIRAGE

A

L'ÉLECTRICITÉ

ÉCLAIRAGE

A

L'ÉLECTRICITÉ

RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

PAR

HIPPOLYTE FONTAINE

TROISIÈME ÉDITION

326 Gravures dans le texte

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

MÊME MAISON A LIÈGE, RUE LAMBERT-LEBÈGUE, 19

1888

Tous droits réservés.

Eng. 41[illegible].5.3

HARVARD COLLEGE LIBRARY
FROM THE LIBRARY OF
JEAN SANCHEZ ABREU
SEPT. 14, 1918

AVANT-PROPOS

Les grands progrès réalisés dans l'éclairage à l'électricité depuis 1879, date de la deuxième édition de ce livre, nous ont obligé à remanier complètement sa rédaction et à y faire de très nombreuses additions.

L'ouvrage, entièrement transformé, est divisé en quatre parties distinctes, savoir : 1° *Notions générales ;* 2° *Description des appareils industriels ;* 3° *Prix de revient ;* 4° *Applications.*

Les notions préliminaires manquaient presque totalement aux éditions précédentes. Elles ont été rédigées en vue de permettre aux personnes peu familiarisées avec les questions scientifiques de comprendre le principe et le fonctionnement des appareils employés dans les installations électriques. Les renseignements qu'elles contiennent sont relatifs au magnétisme, à la conservation de l'énergie, à la génération, la propagation, la mesure et l'emploi des courants électriques et aux meilleurs moyens d'évaluer les intensités lumineuses.

La deuxième partie est surtout consacrée à la description détaillée des dynamos et des brûleurs électriques les mieux

étudiés et les plus répandus dans l'industrie. Les conducteurs, les transformateurs et les divers modes de montage des lampes y sont également décrits avec tous les développements qu'ils comportent. Peut-être trouvera-t-on le chapitre relatif aux régulateurs un peu étendu. Cela tient à ce que beaucoup de mécanismes proposés à l'effet de maintenir l'écart constant entre les pointes de crayons nous ont paru si simples et si ingénieux, que nous les avons mentionnés, malgré certaines imperfections qui en retardent le succès commercial.

La question du prix de revient de l'éclairage à l'électricité ayant une importance capitale, nous l'avons traitée sous toutes ses faces, en insistant spécialement sur la puissance mécanique absorbée par les dynamos, sur la répartition de la lumière des lampes, sur les dépenses d'installation et enfin sur les frais d'exploitation.

En ce qui concerne les applications, nous n'avions que l'embarras du choix, car il existe aujourd'hui des milliers d'établissements publics ou privés éclairés à l'électricité. Aussi nous avons dû procéder à de nombreuses éliminations dans les notes que nous possédions sur ce sujet, et ne publier que celles qui présentaient un intérêt général. C'est pour ce motif que les expériences d'éclairage des voitures et les installations de gares de chemins de fer ont été passées sous silence : les premières n'ayant pas encore de sanction pratique et les autres rentrant dans la catégorie des installations privées.

Pour faciliter les recherches, nous avons classé les applications par catégories d'industries, sous les titres suivants : installations privées, éclairage des théâtres, stations centrales, applications à la navigation, éclairage des phares,

applications aux opérations militaires et installations domestiques.

Parmi les publications ou livres spéciaux que nous avons consultés pour mener notre travail à bonne fin, nous citerons, en première ligne, la *Lumière électrique* (excellent recueil auquel nous avons emprunté 76 gravures sur les 326 contenues dans le présent volume), puis l'*Électricien*, l'*Année électrique*, la *Revue industrielle*, le *Traité d'électricité* de M. Gariel, le *Cours d'électricité* de M. Eric Gérard, les ouvrages de MM. S. Thompson, Cadiat et Dubost, etc.

Paris, 15 avril 1888.

ÉCLAIRAGE

A

L'ÉLECTRICITÉ

PREMIÈRE PARTIE

NOTIONS GÉNÉRALES

CHAPITRE PREMIER

ÉNERGIE ET ÉLECTRICITÉ

Introduction. — Dans l'éclairage à l'électricité on distingue deux sortes d'appareils essentiels : les uns servant à transformer un travail de forme quelconque en électricité et qu'on nomme *générateurs électriques* ; les autres qui sont le siège de la transformation de l'électricité en lumière, et qu'on désigne généralement sous le nom de *brûleurs électriques.*

L'objet principal de ce livre est la description des générateurs et des brûleurs électriques les plus employés dans l'industrie.

Pour être facilement comprise, cette description exige certaines connaissances théoriques et techniques très peu répandues encore aujourd'hui chez les industriels en vue desquels nous écrivons plus spécialement. Nous aurions pu nous borner à indiquer les traités de physique le plus au courant des progrès

de la science, ou les ouvrages élémentaires entièrement consacrés à l'électricité où pourraient être puisées ces connaissances ; mais nous avons préféré réunir ici, dans un ordre déterminé, les notions générales indispensables au lecteur qui veut s'initier à la pratique du nouvel éclairage, sans se lancer dans l'étude complète des phénomènes électriques.

Ces notions sont relatives à l'*énergie*, l'*électricité*, le *magnétisme*, les *piles*, les *dynamos*, l'*arc voltaïque* et l'*incandescence*.

Conservation de l'énergie. — L'*énergie* est la quantité ou la somme totale de travail qu'est susceptible d'effectuer un système, corps ou agent quelconque (masse pesante, ressort tendu, gaz comprimé, poudre explosive, chute d'eau, vent, combustible, substances douées d'affinités chimiques, etc.).

L'expression *énergie* s'applique aussi bien à l'aptitude que possède le système à la production du travail qu'à sa manifestation même, sous forme d'action mécanique, électrique, calorifique, chimique, etc. Cette manifestation peut subir des modifications soit comme intensité, soit comme délai, soit comme forme : la chaleur peut devenir du travail mécanique, celui-ci de l'électricité, cette dernière opérer des décompositions chimiques, etc.; mais tous ces changements, toutes ces transformations se réalisent sans que jamais il en résulte une perte ou un accroissement dans l'énergie primitive. Il en est de l'énergie comme de la matière : l'univers en contient une quantité immuable depuis le commencement des siècles, et cette quantité ne peut subir aucune modification. C'est là le grand principe de la conservation de l'énergie, sur lequel repose la physique moderne, et qu'on exprime souvent par ces mots : *la force est indestructible*.

L'électricité provenant toujours d'une transformation, son énergie ne peut jamais être supérieure, ni même égale, à celle de la source dont elle procède; car l'appareil où s'opère la transformation consomme toujours, sous une autre forme, une partie de l'énergie mise en jeu. Le déficit apparent n'existe d'ailleurs que lorsqu'on compare l'énergie initiale et l'énergie finale récupérée. La première se retrouve intégralement après la trans-

formation; mais elle est alors divisée en énergie électrique utilisable, et, le plus souvent, en énergie calorifique qui élève la température des appareils et se répand ensuite dans l'atmosphère.

Pour produire du travail dynamique à l'aide de la chaleur, on passe généralement par l'intermédiaire de la vapeur d'eau, et on ne recueille guère sur l'arbre de la machine motrice que le dixième de l'énergie contenue dans le combustible dépensé. Dans le domaine de l'électricité, les intermédiaires sont généralement moins coûteux ; on construit aujourd'hui des appareils qui transforment le travail mécanique en électricité sans absorber plus de 3 à 4 p. 100 de l'énergie mécanique totale dépensée.

Électricité. — On ignore comment l'électricité se développe, et quelle est sa nature intime; mais les hypothèses pour expliquer les phénomènes auxquels elle donne lieu sont assez satisfaisantes. Nous allons résumer deux de ces hypothèses, pour faire comprendre certaines parties du langage adopté, en ces matières, par les physiciens.

La première, due à Symmer, est basée sur l'existence de deux fluides dans tous les corps : l'un de ces fluides est désigné sous le nom de *positif,* et l'autre sous le nom de *négatif.* Si le corps considéré contient les deux fluides en quantités égales, on dit qu'il est à l'état neutre; si le fluide positif domine, le corps est dit électrisé positivement; si c'est le fluide négatif qui domine, le corps est alors dit électrisé négativement. Pour expliquer la propagation de l'électricité dans un conducteur, Symmer dit qu'elle est le résultat de la décomposition et de la recomposition du fluide neutre.

La seconde hypothèse, due à Franklin, est plus généralement adoptée. Elle consiste à admettre l'existence d'un seul fluide dont les molécules agissent par répulsion les unes sur les autres, et par attraction sur la matière pondérable. Cette hypothèse revient à la conception d'un agent subtil qu'on est convenu d'appeler *électricité* et qui existe dans tous les corps en quantité déterminée pour chaque substance à l'état neutre, quantité pouvant être augmentée ou diminuée par suite d'une action extérieure spéciale. Le corps est dit électrisé *positivement* ou *en plus*

si l'électricité est augmentée, et électrisé *négativement* ou *en moins* si l'électricité est diminuée.

Dans les deux hypothèses, quand un corps électrisé est en présence d'un corps neutre, il y a action du premier sur le second ; les forces qui en résultent troublent l'équilibre du corps neutre et amènent une nouvelle distribution d'électricité.

Action réciproque des corps électrisés. — Lorsque deux corps sont l'un et l'autre électrisés positivement, ils se repoussent ; il en est de même lorsqu'ils sont tous deux électrisés négativement. Lorsqu'un des corps est électrisé positivement et l'autre négativement, ils s'attirent. Cette attraction et cette répulsion sont proportionnelles aux quantités d'électricité en action, et inversement proportionnelles au carré de la distance des corps entre eux.

On nomme *champ électrique* l'espace dans lequel les actions électriques se manifestent.

Lorsque deux corps sont dans un état électrique différent, et qu'ils viennent à être mis en communication, il s'établit entre eux un courant plus ou moins intense et plus ou moins prolongé.

Si les deux corps en présence sont incapables de développer par eux-mêmes un travail calorifique, mécanique ou chimique, leur état électrique s'égalise bientôt, et le courant est de courte durée. Au contraire, si une action quelconque entretient le courant, celui-ci persiste et donne naissance à une série de phénomènes particuliers, parmi lesquels nous citerons : un développement de chaleur, et même de lumière si le courant traverse un fil très résistant ; la déviation de la boussole ; les effets physiologiques de toute nature.

Ces phénomènes magnétiques, thermiques, chimiques et physiologiques ne sont pas les seuls qui résultent de l'action d'un courant, mais leur énonciation suffit, quant à présent, pour montrer combien sont multiples les propriétés de l'électricité.

Du potentiel. — La différence d'état électrique se nomme *différence de potentiel.* Deux corps sont au même potentiel lorsque leur réunion par un fil conducteur ne fait subir à leur

état électrique aucune modification. Si les corps mis ainsi en communication n'ont pas un état électrique semblable, c'est qu'il existe entr'eux une différence de potentiel, laquelle se traduit par le développement d'un courant d'électricité.

L'idée de potentiel a été introduite depuis peu dans les calculs élémentaires ; il est donc nécessaire de donner quelques explications à son sujet.

La meilleure manière de faire comprendre cette notion aux personnes étrangères à la science électrique est d'établir une comparaison entre les phénomènes hydrauliques et les phénomènes électriques.

En faisant communiquer deux vases contenant un même liquide, de l'eau par exemple, à des niveaux différents, on remarque : 1° qu'il se produit un écoulement d'un vase à l'autre, jusqu'à ce que les niveaux soient les mêmes ; 2° que la direction de l'écoulement est indépendante de la grandeur des vases, le mouvement de l'eau ayant toujours lieu du niveau le plus élevé au niveau le plus bas, quand bien même le vase correspondant à ce dernier aurait une capacité centuple de celle du vase au niveau le plus élevé ; et 3° que la vitesse d'écoulement est d'autant plus grande que la différence des niveaux est elle-même plus grande.

Le potentiel électrique peut être assimilé au niveau de l'eau ; en effet, quand on met en communication deux corps n'ayant pas le même état électrique, un courant s'établit du corps ayant le potentiel le plus élevé à l'autre corps, et il dure jusqu'à ce que les corps arrivent au même potentiel. La quantité d'électricité n'influe pas sur la direction du courant. Enfin, la puissance que le système est capable de développer est d'autant plus considérable que la différence de potentiel est plus élevée.

On prend généralement la terre pour point de comparaison entre l'état des corps électrisés, et l'on admet que les corps électrisés positivement sont à un potentiel plus élevé que la terre tandis que les corps électrisés négativement sont à un potentiel moins élevé que celle-ci. La terre est donc supposée être toujours au potentiel zéro.

Il existe plusieurs définitions scientifiques du potentiel électrique, mais ces définitions sont trop abstraites pour trouver place

ici; nous nous contenterons de donner, à titre de renseignement, une explication qui, sans le définir, en facilitera la conception.

Le potentiel électrique en un point positif d'un champ électrique est le résultat du travail effectué pour amener de la limite du champ jusqu'à ce point l'unité idéale d'électricité positive. En réalité le potentiel électrique pris isolément n'existe pas; mais, par abréviation, on appelle ainsi la différence de potentiel d'un point avec celui de la terre pris, avons-nous dit, pour zéro relatif.

Force électromotrice. — On nomme *force électromotrice* la résultante de toutes les actions électriques dans un système susceptible de cette manifestation de l'énergie. C'est la cause qui détermine le mouvement de l'électricité dans un circuit, et le résultat de la différence de potentiel entre deux points donnés. La force électromotrice est assimilable à la force correspondant à la hauteur de chute d'un liquide. Dans les calculs elle est représentée par la lettre E.

Intensité. — L'*intensité* d'un courant est la quantité d'électricité qui s'écoule par unité de temps. Elle est assimilable au volume d'eau par seconde débité par une chute. L'intensité est représentée dans les formules par la lettre I.

Résistance. — On nomme *résistance* l'obstacle présenté au courant par les diverses parties d'un circuit; la résistance qui s'oppose au mouvement de l'électricité dépend de la nature, des dimensions et de la température des substances constituant le circuit. Un corps homogène, lorsque sa température reste invariable, a une résistance électrique proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section.

La *résistance spécifique* d'une substance est une de ses propriétés essentielles, comme sa masse, sa densité, etc.; c'est le coefficient par lequel il faut multiplier le rapport de la longueur à la section d'un conducteur de cette matière pour avoir sa résistance. Sa valeur numérique est égale à la résistance mesurée entre deux faces opposées d'un cube de la substance considérée ayant une longueur égale à une unité, et une section égale à une unité.

Dans les calculs la résistance est indiquée au moyen de la lettre R.

Conductibilité. — La conductibilité est la facilité plus ou moins grande avec laquelle les corps laissent passer l'électricité ; c'est, à proprement parler, l'inverse de la résistance. On la désigne par la fraction $\frac{1}{R}$.

La *conductibilité spécifique* d'une substance est, comme sa résistance spécifique dont elle est l'inverse, une de ses propriétés essentielles ou naturelles.

Pour indiquer la conductibilité des divers métaux usuels, on prend ordinairement pour terme de comparaison la conductibilité de l'argent ou du cuivre que l'on admet être de 100.

La conductibilité d'un corps homogène, à température constante, est naturellement proportionnelle à sa section et inversement proportionnelle à sa longueur.

Unités électriques. — En vertu du principe de la conservation de l'énergie, ses diverses formes peuvent se comparer les unes avec les autres, puisque les transformations n'altèrent en rien la quantité d'énergie primitive. A un travail dynamique déterminé correspond donc toujours la même quantité de calories ; à une certaine quantité de chaleur, le même travail électrique ; à un courant électrique donné sous une tension déterminée, la même puissance mécanique, etc., etc.

C'est ainsi que l'équivalent mécanique de la chaleur a pu être trouvé expérimentalement, et qu'il a servi de base à tous les travaux récents de la thermo-dynamique ; c'est également ainsi que les mesures destinées à comparer les phénomènes électriques entr'eux ont pu être rattachées directement au système métrique, et, par suite, à l'unité de travail mécanique.

Les unités *absolues* choisies arbitrairement par le Congrès des électriciens de 1881 sont : le centimètre, le gramme-masse[1]

1. Pour l'unité de matière, le Congrès a préféré prendre la masse d'un centimètre cube d'eau distillée, au lieu du poids de ce centimètre cube d'eau distillée, qui est égal à un gramme à Paris, parce que, l'action de la pesanteur variant avec la latitude, le poids d'un centimètre cube d'eau n'est pas le même à Paris qu'à Berlin, par exemple, tandis que l'accélération g, imprimée par la pesanteur, variant dans le même rapport que le poids F, la quantité $\frac{F}{g}$, c'est-à-dire la masse, est immuable.

et la seconde; elles sont la base du système électro-magnétique dit C.G.S.

Pour la dénomination des unités de force électromotrice, de résistance, d'intensité et de quantité, le Congrès s'arrêta aux expressions : *Volt, Ohm, Ampère* et *Coulomb,* qui sont devenues les unités *pratiques* d'électricité et ont été adoptées par tous les physiciens de la France et de l'étranger. C'est grâce à cette unanimité dans le mode d'évaluation des grandeurs électriques, à cette unité dans le langage et les calculs, que la science électrique et les industries qui s'y rattachent ont fait des progrès aussi considérables pendant ces dernières années.

Volt. — L'unité C. G. S. de force électromotrice est la force électromotrice capable de produire un courant d'intensité égale à une unité dans un circuit présentant une unité de résistance.

Dans les calculs courants, on se sert d'une unité égale à 10^8 unités C. G. S., à laquelle on a donné le nom de *volt,* en mémoire de Volta.

Ces unités sont également celles qui servent à la mesure des différences de potentiel.

Comme nous le verrons plus loin, un élément de pile Daniell, quelle que soit sa grandeur, possède une force électromotrice sensiblement égale à un volt.

Ohm. — L'unité C. G. S. de résistance électrique est la résistance d'un circuit dans lequel un courant d'intensité égale à une unité développe, par unité de temps, une unité C. G.S. de chaleur. L'unité pratique, égale à 10^9 unités C. G. S., a reçu le nom d'*ohm.* La grandeur de la résistance que représente l'ohm a été déterminée par divers savants, et notamment par M. Mascart, dont le travail a reçu l'approbation de la Commission internationale qui a succédé au Congrès des électriciens. Cette Commission a décidé que l'*ohm légal* aurait pour étalon une colonne de mercure de 106 centimètres de longueur et d'un millimètre carré de section, à la température de 0°C.

Ampère. — L'unité C. G. S. d'intensité est l'intensité d'un courant produisant, par unité de longueur de conducteur, l'unité de force sur l'unité de pôle placée à l'unité de distance. (On

entend par unité de pôle le pôle qui repousse un pôle semblable égal à lui-même, placé à l'unité de distance, avec l'unité de force). L'unité pratique d'intensité ou l'*ampère*, est la dixième partie de l'unité C. G. S.

Lorsqu'un bain chimique, susceptible d'être décomposé, est traversé par un courant, chaque ampère met en liberté 0,0375 gramme d'hydrogène par heure, et 0,0375 gramme multiplié par l'équivalent chimique, rapporté à l'hydrogène, d'un corps quelconque dissous dans le bain. Un bain de nitrate d'argent, par exemple, traversé par un courant de dix ampères, produira, par heure, $10 \times 0{,}0375 \times 108 = 40{,}5$ grammes d'argent métallique (l'équivalent chimique de l'argent étant 108). On peut donc définir ainsi l'unité pratique d'intensité :

L'ampère est l'intensité d'un courant qui libère 4,05 grammes d'argent, à l'heure, d'un bain électro-chimique.

Coulomb. — Le *coulomb*, ou unité pratique de quantité, est la quantité d'électricité fournie par un courant d'un ampère en une seconde.

Loi d'Ohm. — La loi d'Ohm régit les rapports numériques entre la force électromotrice, l'intensité et la résistance dans un circuit.

L'intensité d'un courant est égale à la force électromotrice divisée par la résistance du circuit.

La force électromotrice est le produit de l'intensité par la résistance.

La résistance est le quotient de la force électromotrice par l'intensité.

D'où l'équation fondamentale, sous trois formes équivalentes :

$$I = \frac{E}{R}$$

$$E = IR$$

$$R = \frac{E}{I}.$$

I représentant, comme nous l'avons dit, l'intensité,

E la force électromotrice,

R la résistance totale du circuit considéré.

Conducteur électrique. — On nomme *conducteur* la partie du circuit électrique qui réunit le générateur du courant à l'appareil utilisant ce courant. Comme pour toutes les autres parties du circuit, la résistance d'un conducteur dépend de sa nature, de ses dimensions et de sa température. A température égale, elle est proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section.

Résistance spécifique des métaux usuels. — Le tableau suivant donne la résistance spécifique des principaux métaux et alliages usuels chimiquement purs, à la température de 0 degré centigrade. Ces résistances spécifiques sont exprimées en ohms-centimètres. Leur valeur numérique est égale à la résistance en ohms, mesurée entre deux faces opposées, d'un centimètre cube du corps considéré.

DÉSIGNATION.	RÉSISTANCE SPÉCIFIQUE EN OHMS-CENTIMÈTRES LÉGAUX.
	ohm-centimètre.
Argent écroui	0,000001634
Argent recuit	0,000001504
Cuivre écroui	0,000001634
Cuivre recuit	0,000001598
Or écroui	0,000002094
Or recuit	0,000002058
Aluminium recuit	0,000002912
Zinc comprimé	0,000005626
Platine recuit	0,000009056
Fer recuit	0,000009716
Nickel recuit	0,000012460
Étain comprimé	0,000013210
Plomb comprimé	0,000019630
Antimoine comprimé	0,000035500
Mercure liquide	0,000098630
Maillechort	0,000020940

La résistance spécifique des alliages est beaucoup plus grande que celle des métaux qui entrent dans leur composition.

Ainsi, l'alliage de deux parties d'argent et d'une partie de platine a pour résistance spécifique 0,00002466, alors que, si les deux métaux étaient pris isolément, cette résistance réduite serait seulement de :

$$r = \frac{0{,}000003268 + 0{,}000009056}{3} = 0{,}000004108.$$

Un alliage de deux parties d'or et une d'argent a pour résistance spécifique 0,00001099, au lieu de 0,000001941 que donneraient les deux métaux simplement réunis.

Les métaux usuels ne sont jamais chimiquement purs ; aussi leur résistance spécifique est-elle toujours plus grande que celle indiquée dans le tableau précédent. Celle du cuivre de commerce variait, il y a une dizaine d'années, entre 1,10 et 1,20 de la résistance spécifique du métal pur. Aujourd'hui, grâce à de nouvelles méthodes de purification, on arrive à fabriquer des fils de cuivre n'ayant que 2 pour 100 de résistance spécifique de plus que le cuivre chimiquement pur. On cite même des expériences faites sur des cuivres un peu comprimés dans la fabrication et où la résistance spécifique a été trouvée moindre que celle généralement admise ; ce qui tendrait à démontrer que la pureté chimique du cuivre ayant servi à la détermination de ladite résistance n'était pas absolue.

La résistance spécifique du fer qu'on emploie dans la construction des lignes télégraphiques varie entre 0,000012 et 0,000013 ; elle est donc supérieure de 20 à 30 p. 100 à la résistance spécifique du fer pur. On admet ordinairement qu'un fil télégraphique de 4 $^{m}/^{m}$ de diamètre et d'un kilomètre de longueur a une résistance de 10 ohms, ce qui revient à prendre pour résistance spécifique de ce fer :

$$r = \frac{0{,}04 \times 3{,}14 \times 10}{100\,000} = 0{,}00001256 \text{ ohm-centimètre.}$$

Influence de la température. — La résistance spécifique des métaux croît avec l'élévation de la température. Il n'y a d'exception à cette règle que pour certains alliages et lorsqu'on dépasse

une certaine température, assez élevée d'ailleurs. La loi de cette variation est donnée par la formule :

$$r' = r(1 + at + bt^2),$$

dans laquelle :

r' est la résistance spécifique à la température donnée,
r la résistance spécifique à 0 degré centigrade,
a et b des coefficients variables,
t la température en degrés centigrades.

Les valeurs de a et b déterminées par Matthiessen sont :

Pour le fer.....	$a = 0{,}0063$	$b = +\ 0{,}00000240$
Pour l'or, l'argent, le cuivre et le zinc..	$a = 0{,}003824$	$b = +\ 0{,}00000126$
Pour le mercure.....	$a = 0{,}0007485$	$b = -\ 0{,}000000398$
Pour le maillechort.....	$a = 0{,}0004433$	$b = +\ 0{,}000000152$

Calcul de la résistance d'un conducteur. — A l'aide du tableau page 10 et de la formule précédente, on peut calculer facilement la résistance d'un fil, dont on connaît les dimensions et la température. Par exemple, s'il s'agit d'un fil de cuivre recuit, chimiquement pur, ayant un diamètre de 2,4 millimètres, une longueur de 530 mètres, à la température de 45°, nous aurons :

$$R = \frac{0{,}000001598 \times 53\,000}{0{,}12^2 \times 3{,}14}(1 + 0{,}003824 \times 45 + 0{,}00000126 \times 45^2) = 2{,}2 \text{ ohms.}$$

Le maillechort varie peu de résistance lorsque la température s'élève : un fil de 100 mètres de long sur 2 m/m de diamètre a une résistance, à 30 degrés centigrades, de :

$$R = \frac{0{,}00002094 \times 10\,000}{0{,}01 \times 3{,}14}(1 + 0{,}0004433 \times 30 + 0{,}000000152 \times 30^2) = 6{,}76 \text{ ohms};$$

et, à une température de 100 degrés centigrades, de :

$$R = \frac{0{,}00002094 \times 10\,000}{0{,}01 \times 3{,}14}(1 + 0{,}0004433 \times 100 + 0{,}000000152 \times 100^2) = 6{,}97 \text{ ohms.}$$

Résistance des corps non métalliques. — La résistance spécifique des corps non métalliques est beaucoup plus grande que celle des métaux, et, contrairement à ce qui a lieu pour ceux-ci, l'élévation de la température a toujours pour effet de diminuer cette résistance.

La résistance spécifique du verre et de la porcelaine est presque infinie à la température ordinaire; mais, lorsque la température s'élève, ces substances deviennent conductrices. A 20 degrés, le verre a une résistance spécifique de 2 270 000 000 ohms-centimètres; à 400 degrés, cette résistance n'est plus que de 7 350 000 ohms-centimètres.

La résistance spécifique de la gutta-percha dépend de sa qualité et de son degré d'épuration. Ainsi, cette résistance, qui est de 25×10^{12} ohms-centimètres pour certains échantillons commerciaux, peut atteindre jusqu'à 500×10^{12} ohms-centimètres à 24 degrés centigrades pour des échantillons plus parfaits. Pour une même gutta, la résistance spécifique dépend de la température, de la durée d'électrisation, de la pression extérieure, et de la durée de son séjour dans l'eau. La résistance spécifique remarquable de la gutta l'a fait employer dans la fabrication des câbles sous-marins et dans celle des conducteurs aériens et souterrains exigeant un isolement exceptionnel.

La résistance spécifique du caoutchouc vulcanisé est encore plus considérable que celle de la gutta-percha, et elle varie moins avec la température (à 24 degrés C., elle atteint facilement 7500×10^{12} ohms-centimètres); mais le caoutchouc est moins employé que la gutta dans la fabrication des câbles, parce qu'il exerce une action chimique sur le cuivre.

Les autres substances employées pour isoler les fils métalliques dans la construction des appareils électriques sont le bitume, le goudron, la résine, le coton, la soie.

La composition *Chatterton,* également très en usage dans les câbles conducteurs, renferme en poids : une partie de goudron de Stockholm, une partie de résine et trois parties de gutta-percha.

Les charbons généralement employés dans les régulateurs à arc voltaïque ont une résistance spécifique moyenne de 0,004 ohm-centimètre.

L'eau distillée a une résistance spécifique de 9300 ohms-centimètres à 15 degrés centigrades; une quantité extrêmement petite d'acide diminue cette résistance dans une proportion très notable.

Chaleur développée dans un conducteur. — Le passage d'un courant dans un conducteur a pour effet d'échauffer ce conducteur ou, en d'autres termes, de convertir une partie de l'énergie électrique en énergie calorifique. Cet échauffement n'est pas spécial au conducteur proprement dit; il s'opère dans toutes les parties du circuit, dans les bains chimiques, les générateurs d'électricité, partout, en un mot, où le courant circule.

Joule a prouvé expérimentalement, et la théorie démontre que le nombre de calories absorbé par une partie quelconque du circuit est proportionnel :

1° A la résistance de la partie considérée;

2° Au carré de l'intensité du courant;

3° Au temps pendant lequel le courant a passé.

Il résulte de là que la chaleur développée par un courant de I ampères, dans un conducteur de résistance R, pendant un temps t, est

$$C = I^2 R t.$$

L'élévation de la température d'un fil, dépend de sa longueur comparée à sa résistance par unité de longueur. Un fil court et fin peut offrir la même résistance qu'un fil gros et long de même matière. La quantité d'électricité traversant ces deux fils étant supposée la même, il est évident que le fil court et fin prendra une température plus élevée que le fil gros et long, puisque le même nombre de calories sera réparti dans une masse plus faible. Si l'on prend deux fils de mêmes dimensions, mais de substances différentes, les températures obtenues avec le même courant seront en raison directe de la résistance propre des matières, et en raison inverse de leur capacité calorifique. On fait bien comprendre ces effets en mettant dans le circuit d'une pile une chaîne dont les maillons très fins sont alternativement de platine

et d'argent, tous les maillons de platine s'échauffent au rouge blanc, et les maillons d'argent au rouge sombre seulement.

Cette propriété du courant électrique, de développer de la chaleur dans toutes les parties d'un circuit et d'élever fortement la température dans certaines parties des conducteurs, est utilisée dans tous les systèmes d'éclairage électrique.

Travail et puissance d'un courant. — Quand un courant traverse un circuit pendant un temps donné, il transporte un certain nombre de coulombs du potentiel le plus élevé au potentiel le moins élevé. La production de *travail* qui résulte de ce transport est égale en kilogrammètres au nombre de coulombs transportés multiplié par la chute de potentiel et divisé par g (9,81).

Or le nombre de coulombs transportés par seconde est précisément égal au nombre d'ampères du courant, et la chute de potentiel au nombre de volts sous lequel s'écoule le même courant; on a donc pour la *puissance* ou *travail par seconde* :

$$P = \frac{EI}{9,81} \text{ kilogrammètres par seconde.}$$

Si l'on veut exprimer cette puissance en chevaux, il suffira de diviser la fraction par 75, et on aura :

$$P = \frac{EI}{9,81 \times 75} = \frac{EI}{736} \text{ chevaux.}$$

Watt. — Le *watt* est l'unité de puissance électrique : c'est le produit d'un volt par un ampère. Introduite dans les formules, cette nouvelle expression est très utile dans la pratique industrielle, car elle donne immédiatement la puissance d'un générateur électrique.

Un courant de 350 ampères sous une tension de 100 volts, par exemple, équivaut à $100 \times 350 = 35000$ watts, et peut développer un travail par seconde de $\frac{35\,000}{9,81} = 3\,568$ kilogrammètres par seconde.

Un deuxième courant de 175 ampères sous une tension de 200 volts donne également 35000 vatts et, par suite, 3 568 kilo-

grammètres par seconde. La puissance des générateurs produisant ces courants est donc la même, bien que les intensités et les forces électromotrices soient différentes.

Pour plus de simplicité, on divise le nombre de watts par 10 lorsqu'on veut connaître la puissance en kilogrammètres par seconde correspondant à un courant et à une force électromotrice donnés, et par 750, lorsqu'on veut l'exprimer en chevaux-vapeur. Le résultat auquel on arrive ainsi est suffisamment exact pour tous les calculs d'installations industrielles.

Travail et puissance absorbés par un conducteur. — Nous avons dit plus haut que la chaleur absorbée par un conducteur pendant un temps t était donnée par la formule : $C = I^2 R t$; d'où, pour la *puissance*, ou *travail par seconde*, absorbée sous forme de chaleur, $P_c = I^2 R$.

Comme, d'après la loi d'Ohm, $R = \frac{E}{I}$, on peut substituer à la dernière formule celle-ci :

$$P_c = \frac{EI^2}{I} = EI,$$

et l'énergie électrique par seconde, perdue dans le conducteur, est :

$$\frac{EI}{g} \text{ ou } \frac{I^2 R}{g}.$$

Or $\frac{EI}{g}$ représente la puissance en kilogrammètres par seconde développée par le courant, et l'équivalent mécanique de la chaleur est 424. La quantité de chaleur par seconde engendrée par un courant dans un conducteur est donc :

$$P_c = \frac{EI}{9{,}81 \times 424} = \frac{EI}{4160} = \frac{I^2 R}{4160} \text{ calories par seconde.}$$

Cette dernière formule montre que, pour un même nombre de watts fourni à un conducteur de résistance donnée, il est avantageux, quand on le peut, d'augmenter les volts, et de

diminuer proportionnellement les ampères, afin de diminuer le travail par seconde absorbé par le conducteur.

Un exemple numérique fera immédiatement apprécier l'importance de cette remarque. Supposons qu'un courant de 100 ampères sous 100 volts, donnant par conséquent 10 000 watts, doive traverser un conducteur ayant une résistance de 1 ohm ; le travail calorifique par seconde absorbé par le conducteur, et par suite perdu, sera :

$$P = \frac{10\,000 \times 1}{9{,}81} = 1020 \text{ kilogrammètres par seconde,}$$

ou 13,6 chevaux-vapeur.

La même puissance de 10 000 watts, obtenue avec 400 volts et 25 ampères, ne donnerait qu'une perte de :

$$P = \frac{625 \times 1}{9{,}81} = 63 \text{ kilogrammètres par seconde,}$$

ou moins d'un cheval-vapeur.

Circuits complexes : Règles de Kirchhoff. — Si plusieurs conducteurs, aboutissant à un même point, sont parcourus par des courants circulant les uns en se dirigeant vers ce point, les autres en s'en éloignant, il est clair qu'en régime normal la quantité d'électricité qui arrive au point considéré est égale à celle qui s'en éloigne.

C'est sur cette observation, conséquence de la loi d'Ohm, qu'est basée la règle suivante due à Kirchhoff :

En un point de croisement de plusieurs conducteurs faisant partie de réseaux traversés par des courants, la somme algébrique des intensités qui traversent ces conducteurs est nulle.

On doit également à Kirchhoff une deuxième règle relative à un système composé de plusieurs sources d'électricité réunies en circuit fermé. Cette règle peut s'exprimer ainsi : *Dans un circuit fermé quelconque, la somme de toutes les forces électromotrices est égale à la somme des produits qu'on obtient en multipliant la résistance de chacune des parties du circuit par l'intensité du courant qui circule dans cette partie.*

Circuits dérivés. — Quand on réunit deux points A et B d'un circuit nCn' (Fig. 1) par un fil conducteur ADB, le courant, arrivé en A, se sépare en deux parties qui se réunissent en B. On dit alors que le courant qui traverse ADB est une dérivation du courant principal ACB.

La quantité d'électricité, qui passe dans les parties non bifurquées qui précèdent ou qui suivent la dérivation, est égale à la somme de celles qui passent dans les deux branches de la partie bifurquée.

L'intensité du courant dans les branches de la bifurcation est

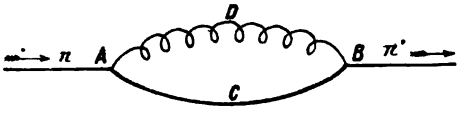


Fig. 1.

en raison inverse de leurs résistances respectives. Ainsi, si l'on suppose que le fil ADB soit de même matière et de même section que le conducteur ACB, mais qu'il ait une longueur triple, l'intensité du courant qui circulera dans cette dérivation sera le tiers de l'intensité du courant principal ACB, et le quart de l'intensité totale du courant qui circule dans les parties non bifurquées.

La résistance d'un conducteur unique équivalent aux deux conducteurs quelconques ADB et ACB peut se déterminer de la manière suivante :

Soient x la résistance cherchée,

I l'intensité du courant avant la partie bifurquée,

i l'intensité du courant qui traverse ACB,

i' l'intensité du courant qui traverse ADB,

r la résistance du conducteur ACB,

r' la résistance du conducteur ADB,

e la différence de potentiel entre A et B ;

on a :

$$I = i + i'$$

et

$$I = \frac{e}{x}, \quad i = \frac{e}{r}, \quad i' = \frac{e}{r'};$$

d'où

$$\frac{e}{x} = \frac{e}{r} + \frac{e}{r'}$$

ou

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r'},$$

et

$$x = \frac{1}{\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}};$$

ce qui peut s'exprimer ainsi : *la résistance totale de deux dérivations est égale à l'inverse de la somme des inverses des résistances de chacune des deux dérivations.*

Cette relation est encore la même lorsque le nombre des dérivations est quelconque; la formule devient alors :

$$x = \frac{1}{\frac{1}{r'} + \frac{1}{r''} + \frac{1}{r'''} \cdots \frac{1}{r^n}};$$

r', r'', r''',... r^n étant les résistances propres de chacune des dérivations considérées.

Remarque. — On confond souvent les expressions : force, travail, puissance et énergie; il est donc utile de rappeler que *force*, dans le langage scientifique, est synonyme d'*effort*; que le *travail* est le produit d'une force par le chemin parcouru par son point d'application dans la direction de cette force; que la *puissance* est le travail par unité de temps; qu'enfin l'*énergie* est, comme nous l'avons dit, la quantité totale de travail dont est susceptible un corps, agent ou système quelconque.

Les mots *travail* et *puissance* sont notamment pris souvent l'un pour l'autre. Ces deux quantités sont cependant absolument différentes, et liées entre elles par la même relation que l'espace et la vitesse. En appelant e l'espace, v la vitesse, t le temps, P la puissance et T le travail, on a, en effet :

$$e = vt$$

et

$$T = Pt.$$

Confondre le travail avec la puissance correspond donc à la confusion entre l'espace et la vitesse.

L'élévation d'un poids d'un kilogramme à un mètre de hauteur représente un *kilogrammètre* (unité de travail):

Ce travail peut être effectué en un temps plus ou moins long, suivant la puissance de l'organe qui soulève le poids. Si cet organe effectue ce travail en une seconde, sa puissance est d'un *kilogrammètre par seconde* (unité de puissance); s'il a besoin de deux secondes pour le réaliser, sa puissance n'est que d'un demi-kilogrammètre par seconde, etc.

Il suffit, comme on le voit, de diviser le travail par le temps employé à l'effectuer pour avoir la puissance correspondante.

CHAPITRE II

PILES ET ACCUMULATEURS

§ I. — *Piles hydro-électriques.*

Définition. — Une pile hydro-électrique est un appareil dans lequel s'opèrent des actions chimiques donnant naissance à un courant électrique.

Nous avons dit (Chapitre premier) que, lorsque deux corps se trouvaient dans un état électrique différent et qu'ils venaient à être mis en communication, ils étaient traversés par un courant, lequel courant persistait ou disparaissait, suivant qu'il se produisait ou non, au même moment, une transformation de l'énergie de nature à entretenir les phénomènes électriques. La pile donne de la persistance au courant en transformant de l'énergie chimique en énergie électrique.

Pile Volta. — C'est à Volta qu'on doit la première pile électrique et les premières études scientifiques qu'elle a permis d'entreprendre. Les deux formes sous lesquelles fut présentée cette pile primitive sont caractérisées : l'une par la superposition de rondelles, et l'autre, par la réunion d'une série de tasses, d'où les désignations bien connues de *pile à colonne* et *pile à couronne de tasses*.

La pile à colonne, qui a donné son nom de *pile* à toutes les autres dispositions basées sur le même principe, se composait de rondelles de zinc et de rondelles de cuivre superposées et séparées par couples à l'aide de rondelles en drap imbibées d'eau salée. Ces rondelles étaient placées toujours dans le même ordre :

zinc, cuivre, drap, zinc, cuivre, drap, zinc, cuivre,... et ainsi de suite. En réunissant par un fil métallique le premier zinc avec le dernier cuivre, on constatait le passage d'un courant d'une assez grande puissance.

La pile à couronne de tasses, dont la disposition a prévalu en pratique, était composée d'une série de tasses en verre contenant de l'eau acidulée (une partie d'acide sulfurique et vingt parties d'eau) et deux lames, l'une de zinc et l'autre de cuivre. Cette dernière était souvent remplacée par une lame d'argent.

La lame de zinc d'une tasse était soudée à la lame de cuivre de la tasse suivante. Pour obtenir un circuit électrique, il suffit de réunir par un conducteur, comme pour la pile à colonne, le zinc de la première tasse au cuivre de la dernière.

Il est utile de faire remarquer qu'une seule lame de zinc et une seule lame de cuivre, séparées par un liquide acide, suffisent pour former une pile électrique. Si l'on superpose beaucoup de rondelles, ou si l'on accouple à la suite l'un de l'autre beaucoup de tasses, c'est uniquement, ainsi que nous l'expliquerons plus loin, pour augmenter la force électromotrice du système.

Lorsque la pile n'est composée que de deux plaques, contenues dans une tasse, ou séparées par une rondelle en drap, on la désigne généralement sous le nom d'élément de pile ou simplement d'*élément* ou *couple*.

Voici comment s'opère l'action chimique dans une pile à tasses de Volta :

L'eau, en présence de l'acide sulfurique, est décomposée par le zinc. L'oxygène, provenant de cette décomposition, se combine avec le zinc pour former de l'oxyde de zinc, et ce dernier corps se combine avec l'acide sulfurique pour donner naissance à du sulfate de zinc que l'eau dissout. L'hydrogène se dégage, et le cuivre ne subit aucune modification appréciable.

Pendant que ces réactions ont lieu, on constate que le zinc est électrisé négativement, et que le cuivre est électrisé positivement. Il suffit donc de les mettre en contact direct, ou de les réunir par un conducteur, pour obtenir un courant électrique qui persiste aussi longtemps que dure l'action chimique.

Examen d'un circuit. — Les deux lames métalliques placées dans un même vase de pile se nomment *électrodes*. La lame active, c'est-à-dire celle qui s'use, se nomme *électrode positive*, et la lame inactive, *électrode négative*. Dans le cas d'une pile Volta, le zinc est l'électrode positive, et le cuivre l'électrode négative.

Les pôles de la pile sont les extrémités des électrodes où viennent se fixer les conducteurs. Le pôle négatif est situé sur l'électrode positive, et, réciproquement, le pôle positif est situé sur l'électrode négative.

Cela, pour être compris, exige une courte explication.

Pour faciliter l'étude de la pile, on a admis que le courant allait, dans l'intérieur du liquide, de l'électrode positive à l'électrode négative, et dans le conducteur extérieur, du pôle positif au pôle négatif. Cette convention établie, il a fallu naturellement donner aux pôles des noms opposés à ceux des électrodes qui les portent. La figure 2, qui représente un élément avec un fil conducteur, fait bien ressortir la nécessité de ces appellations.

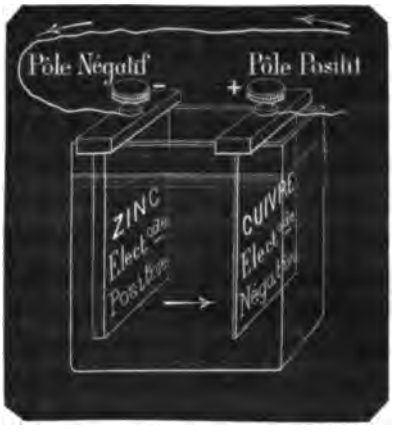


Fig. 2. — Circuit électrique.

Pour éviter toute confusion dans la pratique, le mieux est de ne désigner que les pôles des piles sans parler des électrodes. En parlant du zinc de la pile Volta, on dit simplement le pôle négatif.

Pour reconnaître le sens d'un courant, il suffit de placer l'aiguille d'une boussole sous le conducteur : la pointe N de l'aiguille dévie alors vers l'Est, si le courant va du Nord au Sud, et vers l'Ouest, si le courant se dirige du Sud au Nord.

Quand un conducteur de faible résistance réunit les deux pôles d'une pile, comme dans notre croquis, on dit que la pile est fermée en *court circuit*. Généralement, les conducteurs aboutissent à un bain chimique que le courant traverse en y opérant des décompositions, ou bien à un moteur en y effectuant du travail

mécanique, ou bien encore à un régulateur ou à une lampe en y développant un foyer lumineux, etc., etc. Le circuit est alors l'ensemble formé par la pile elle-même, les conducteurs et l'appareil où s'opère le travail utile.

Force électromotrice d'une pile. — La force électromotrice d'une pile est intimement liée à l'affinité chimique des substances en présence ou, pour mieux dire, aux quantités de chaleur dégagées par les diverses réactions qui se produisent; mais elle ne dépend ni des dimensions des électrodes, ni de la quantité de liquide employée. Un élément ayant des électrodes d'un centimètre carré, par exemple, a exactement la même force électromotrice qu'un élément constitué avec les mêmes substances et ayant des électrodes de dix mètres carrés de surface.

Si l'on réunit plusieurs éléments par leurs électrodes de noms contraires, on obtient une force électromotrice égale à celle d'un élément, multipliée par le nombre d'éléments. En accouplant ainsi 100 éléments donnant chacun 1 volt, on parvient à obtenir une force électromotrice de 100 volts, même avec des éléments minuscules. On dit alors que la pile est *couplée en tension* ou *en série*.

Résistance d'une pile. — La résistance intérieure d'une pile dépend de la nature du liquide, de la surface des électrodes et de leur écartement.

Les liquides n'ont pas tous, en effet, la même résistance spécifique, et la quantité de liquide contenue entre deux électrodes peut être considérée comme un véritable conducteur, ayant une résistance d'autant plus grande que sa section transversale est plus petite, et sa longueur, c'est-à-dire la distance entre les électrodes, plus considérable.

Pour avoir le moins de résistance possible, dans une pile donnée, il faut associer les éléments dont elle se compose en unissant ensemble les électrodes de même nom. La force électromotrice est alors égale à celle d'un seul élément, et la résistance égale à celle d'un élément divisée par le nombre des éléments. Ce couplage de pile se nomme *couplage en quantité* ou *couplage parallèle*.

Débit d'une pile. — Le débit des piles, constituées comme celle dont nous venons de parler, s'affaiblit rapidement par suite des décompositions et des transports de substances d'une électrode à l'autre. Dans la pile Volta, par exemple, l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau se porte sur la plaque de cuivre, et le zinc provenant de la décomposition du sulfate de zinc se dépose également sur le cuivre. Ces deux dépôts changent, petit à petit, l'état électrique du cuivre, et créent, dans le sein de la pile, une force électromotrice contraire à celle qui est utilisée extérieurement, et qu'on nomme pour cette raison force *contre-électromotrice*. Après un court fonctionnement, la force contre-électromotrice fait équilibre à la force électromotrice, et le courant devient nul. Des expériences multiples ont démontré que le dépôt d'hydrogène était la principale cause de l'affaiblissement et de l'arrêt du courant. Ce phénomène qu'on observe dans toutes les piles du genre Volta se nomme *polarisation*. On dit qu'une pile est polarisée, ou que son électrode négative est polarisée, lorsque le dépôt de bulles d'hydrogène sur cette dernière diminue ou annule le courant électrique.

Dans des éléments n'ayant jamais fonctionné, l'hydrogène dégagé commence par se combiner avec l'oxygène dissous dans le liquide, ce qui retarde la polarisation; mais, dès que le liquide a été privé de son oxygène libre, la polarisation se fait sentir au début même de la mise en action de la pile.

Piles à liquide dépolarisant. — Pour donner aux piles la régularité de débit essentielle dans presque toutes les applications de l'électricité, il suffit de supprimer la polarisation. C'est à quoi se sont attachés un grand nombre de physiciens émérites, parmi lesquels nous citerons Becquerel, Grove, Daniell, Bunsen et Poggendorff, qui ont les premiers ouvert une voie pratique dans la production de l'électricité au moyen d'actions chimiques.

Pile Daniell. — L'élément connu sous le nom de Daniell, un des plus en usage dans la pratique, se compose :

1° D'un vase extérieur, en grès ou en verre;

2° D'un vase poreux en porcelaine dégourdie placé à l'intérieur du premier;

3° D'une électrode en zinc placée entre les deux vases, et plongeant, par suite, dans le liquide du vase extérieur;

4° D'une électrode en cuivre plongeant dans le vase poreux.

Le vase extérieur contient de l'acide sulfurique dilué, et le vase intérieur, du sulfate de cuivre en dissolution dans de l'eau.

Cette pile ne diffère de celle de Volta que par l'addition du vase poreux et de la dissolution de sulfate de cuivre; mais ces seules additions suffisent, comme on va le voir, pour supprimer la polarisation et donner au courant une constance des plus remarquables.

Examinons quelles sont les actions chimiques en jeu.

Le zinc se dissout en s'oxydant et en formant du sulfate de zinc; l'hydrogène mis en liberté traverse le vase poreux et, au lieu de se dégager sur le cuivre, décompose le sulfate de cuivre et se substitue dans cette dissolution à une quantité équivalente de cuivre, lequel se dépose sur l'électrode en cuivre. Après un certain temps, tout l'acide sulfurique du vase extérieur est converti en sulfate de zinc, ce qui ne modifie en rien le régime de la pile; le zinc lui-même se substitue alors au cuivre dans le sulfate de cuivre, et le fonctionnement régulier continue jusqu'à ce que tout le sulfate de cuivre se soit transformé en sulfate de zinc. La force électromotrice d'un élément Daniell est très approximativement égale à 1 volt; elle est souvent, vu sa constance, prise pour unité dans les laboratoires et dans les ateliers d'électriciens.

La résistance de cette pile est variable à cause des changements qui surviennent sans cesse dans la composition du liquide. En télégraphie cela est sans importance, parce que la résistance extérieure est tellement grande, par rapport à celle des éléments, que le débit électrique est peu modifié, malgré l'inconstance de la résistance intérieure. Il n'en est pas de même dans les applications industrielles, pour lesquelles il faut construire des piles à grandes surfaces et à renouvellement fréquent des liquides, si l'on veut obvier à la variabilité de la résistance intérieure. Par suite de l'emploi d'un vase poreux, et d'actions locales que nous n'avons pas à analyser ici, la pile Daniell consomme presque autant de zinc et de sulfate de cuivre quand

son circuit est fermé sur une résistance extérieure, et qu'il est traversé par un courant électrique utilisable, que quand son circuit est ouvert et n'est le siège d'aucun courant extérieur, d'aucun travail utile. Un seul inconvénient à signaler, c'est la formation des *sels grimpants*; on nomme ainsi un dépôt de sulfate de zinc cristallin qui s'élève le long des parois du vase extérieur et qui gagne bientôt le vase poreux et l'ensemble de l'appareil. Une petite couche mince de liquide, amenée sur les parois du vase extérieur, produit, par évaporation, un dépôt de cristaux, lequel dépôt augmente graduellement par l'effet de son action capillaire qui pompe le sulfate, et l'action se continue de proche en proche dans tous les sens.

Pile Bunsen. — La pile Bunsen se compose essentiellement:

1° D'un vase extérieur contenant de l'eau acidulée à l'acide sulfurique;

2° D'un vase poreux contenant de l'acide azotique;

3° D'un cylindre en zinc placé dans le vase extérieur;

4° D'un prisme en charbon placé dans le vase poreux.

Pour transformer un élément Daniell en un élément Bunsen il suffit donc de substituer une lame de charbon à la lame de cuivre, et de l'acide azotique au sulfate de cuivre.

Les réactions chimiques qui s'effectuent dans la pile Bunsen, concourent toutes au même résultat, savoir : la sulfatation du zinc, et l'absorption de l'hydrogène, provenant de la décomposition de l'eau, par l'acide azotique. L'acide azotique possède la propriété de se réduire facilement en abandonnant de l'oxygène, de sorte que l'hydrogène traversant le vase poreux forme, avec l'acide azotique, de l'eau et du bioxyde d'azote. Ce dernier, étant un corps gazeux, se dégage dans l'atmosphère et forme, au contact de l'air, de l'acide hypoazotique rutilant.

La force électromotrice de cette pile est d'environ 1,7 volt. Cette grande force électromotrice et le bas prix des acides sulfurique et azotique font de la pile Bunsen un appareil énergique et relativement économique; aussi est-elle une des plus employées par l'industrie.

Avant l'invention des machines dynamos, on la rencontrait

dans tous les ateliers de galvanoplastie, et, chaque fois qu'on voulait éclairer des chantiers de travaux publics ou faire des projections lumineuses, c'est à elle qu'on avait recours; aujourd'hui encore, le nombre de piles Bunsen en fonction en Europe et en Amérique est considérable.

Le dégagement des vapeurs rutilantes, aussi désagréables à l'odorat que nuisibles à la santé, peut être annulé par l'addition d'une certaine quantité d'huile à brûler au-dessus de l'acide azotique. Les vapeurs nitreuses sont retenues par l'huile et transformées en une substance blanche solide, l'acide élaïdique, que l'on peut utiliser dans la fabrication des bougies.

Piles au bichromate. — Ce sont les piles au bichromate dont on se sert le plus souvent pour les petites installations d'éclairage. Elles sont d'un maniement facile, et, grâce à la concentration possible du liquide dépolarisant, elles peuvent fournir une énergie électrique assez considérable, eu égard à leur poids et à leur volume.

L'oxygène nécessaire à la dépolarisation de ces piles est emprunté à l'acide chromique qui l'abandonne facilement pour passer à un degré d'oxydation moindre. Au lieu d'acide chromique que l'on trouve peu dans le commerce, on se sert de bichromate de potasse ou de bichromate de soude, mélangé avec de l'acide sulfurique plus ou moins dilué. Introduit dans la pile, ce mélange forme de l'alun de chrome qui n'abandonne l'oxygène qu'au fur et à mesure du dégagement de l'hydrogène, ce qui amène la production d'une quantité d'eau correspondante.

Poggendorff, le premier qui ait fait usage de bichromate dans les piles, constituait son élément comme celui de Bunsen : vase extérieur, vase poreux, zinc et charbon. Dans le vase extérieur, contenant le zinc, il mettait de l'acide sulfurique étendu de douze fois son poids d'eau; dans le vase poreux, contenant le charbon, il mettait un mélange ainsi composé :

Eau.....	100 parties.
Bichromate.....	12 —
Acide sulfurique.....	25 —

Ainsi montée, cette pile a une force électromotrice de 2 volts environ.

Groupement des éléments de pile. — *La puissance maxima d'une pile est obtenue lorsque les résistances intérieure et extérieure sont égales.* — Pour arriver à équilibrer ces résistances dans l'établissement d'une batterie, il faut naturellement connaître la résistance extérieure R du circuit, et la résistance r d'un élément de la pile. La première est généralement donnée, pour le cas d'un éclairage, par le problème même, car elle dépend uniquement des brûleurs et des conducteurs ; la seconde peut être déterminée assez facilement sur place, ainsi que nous l'indiquerons plus loin.

Le rendement maximum d'une pile est obtenu lorsque le rapport entre la résistance extérieure et la résistance intérieure est le plus grand possible. Cela revient à dire que le rendement est maximum quand R est égal à l'infini, et r à zéro. Ce rendement est alors de 100 pour 100; mais la puissance est égale à zéro. Au point de vue algébrique, comme au point de vue pratique, il ne faudra donc pas se placer dans des conditions trop voisines de celles du rendement maximum, à cause de la petitesse de la puissance obtenue, et de l'importance excessive qu'il faudrait donner au matériel électrique.

Connaissant les conditions de puissance maxima et celles du rendement maximum d'une batterie, il devient facile de formuler le mode de groupement à adopter pour les éléments, si la résistance extérieure n'est pas imposée.

Il peut se présenter deux cas :

1° On veut obtenir la plus grande puissance extérieure avec un rendement inférieur à 50 pour 100; il faut grouper tous les éléments en tension ;

2° On désire un grand rendement, sans s'inquiéter du travail par seconde; il faut grouper tous les éléments en quantité.

Dans les applications industrielles, on a reconnu qu'il y avait avantage à adopter le groupement en tension, même au point de vue du rendement. La raison de ce fait est que l'énergie chimique, rendue disponible par la dissolution du métal, n'est pas

entièrement transformée en énergie électrique; elle reste, en partie, confinée dans la pile sous forme de chaleur.

Ce fait, qui paraît être en désaccord avec la loi de Faraday, change les conditions du problème, et indique qu'un grand rendement ne correspond pas à une très grande résistance extérieure. L'expérience démontre que, en couplant les éléments d'une pile de sorte que la résistance intérieure soit le tiers de la résistance extérieure, on réalise les meilleures conditions pratiques de rendement.

Calcul de la force électromotrice des piles. — On peut, par le calcul, trouver la force électromotrice d'une pile dont on connaît la composition. Il suffit, à cet effet, de diviser le nombre représentant la chaleur des réactions de la pile, rapportée à un équivalent chimique du liquide excitateur et exprimée en calories, par 23.

La difficulté est de bien déterminer la nature des réactions qui se produisent dans la pile, ce qui est souvent matériellement impossible à analyser complètement; puis de chercher, à l'aide des tableaux de thermo-chimie, les calories qui correspondent à chaque réaction.

Prenons comme exemple la pile Daniell. — Il se produit, dans un élément Daniell, les trois réactions suivantes :

1° Réduction de l'oxyde de cuivre, exigeant 21 calories par équivalent;

2° Destruction du sulfate de cuivre exigeant 9,2 calories par équivalent;

3° Formation du sulfate de zinc produisant 53,5 calories par équivalent.

Le nombre des calories obtenues est donc de 53,5, et celui des calories dépensées de 30,2; la différence 23,3 représente précisément la chaleur transformée en énergie électrique. La force électromotrice d'un élément Daniell est donc de $\frac{23,5}{23} = 1,02$ volt.

A l'aide d'instruments, dont nous parlerons plus loin, cette force électromotrice est facile à obtenir directement; les calculs

ne sont utiles que lorsqu'il s'agit d'étudier une nouvelle combinaison de pile avant de la construire.

§ II. — *Accumulateurs électriques.*

Définition. — On nomme *accumulateur* ou *pile secondaire* un appareil destiné à emmagasiner électriquement de l'énergie chimique reconvertible en énergie électrique, ou à régulariser un courant électrique. Tel qu'il est établi aujourd'hui, l'accumulateur est une véritable pile à un seul liquide, ayant ses deux électrodes identiques, dans laquelle on envoie un courant pour polariser énergiquement lesdites électrodes. Cette polarisation donne naissance à un courant secondaire (de sens opposé au courant primaire), pouvant remplacer un courant ordinaire dans ses diverses applications.

Accumulateur à formation lente. — A peine Volta eut-il créé la première pile, qu'un physicien français nommé Gautherot reconnut que les électrodes d'un voltamètre servant à la décomposition de l'eau avaient, pendant ce travail, acquis la propriété de produire ultérieurement un courant. Mais, ce ne fut que longtemps après, vers 1860, que M. Planté eut l'idée de tirer parti de cette propriété pour mettre en quelque sorte en réserve une certaine quantité d'électricité. En principe, l'accumulateur Planté se compose d'un vase contenant de l'acide sulfurique dilué, et de deux lames de plomb plongeant dans le liquide.

Sous l'action du courant primaire, l'eau est décomposée, l'oxygène se dégage sur la lame positive, se combine avec le plomb, et forme du peroxyde de plomb, tandis que l'hydrogène se porte sur l'autre électrode. Les deux électrodes sont alors dans un état électrique différent, et, par suite, susceptibles de donner naissance à un courant. Si donc on interrompt les communications avec la source d'électricité, et si l'on ferme le circuit de l'accumulateur sur une résistance extérieure, on constate la production d'un courant, allant de la plaque oxydée à la plaque polarisée ; ce courant est dû à la reconstitution de l'eau et à la réduction du peroxyde de plomb à un état inférieur d'oxydation.

L'oxygène mis en liberté se rend à l'électrode inactive avec laquelle il se combine, et l'acide sulfurique transforme les oxydes simples, ainsi constitués, en sulfate de plomb insoluble. Ces actions chimiques fournissent l'énergie correspondant au courant secondaire.

Quand on fait passer de nouveau le courant primaire dans l'accumulateur, l'acide sulfurique se reconstitue; une nouvelle quantité d'eau est décomposée; l'oxygène se porte sur l'électrode positive et donne naissance à du peroxyde de plomb; l'hydrogène réduit le sulfate de plomb de l'électrode négative en plomb métallique. Tout revient dans le même état qu'après la première opération, à cette différence près que la quantité de peroxyde de plomb, formée sur l'électrode positive, est plus considérable, tandis que l'électrode négative est recouverte de plomb réduit.

Pour l'obtention de courants intenses ou de longue durée, il est nécessaire de renouveler les opérations de *charge* et de *décharge* un très grand nombre de fois, de manière à former des couches épaisses d'oxyde et de plomb réduit, ayant une grande *capacité* de charge. Cette première phase (charges et décharges successives), dite *de formation,* s'effectue chez le constructeur, qui ne livre ses accumulateurs que lorsqu'ils sont propres à absorber et à restituer une certaine quantité d'énergie électrique par kilogramme d'électrodes en action.

La lame positive se forme plus vite que la lame négative et l'on hâte la formation de l'accumulateur en alternant le sens du courant de charge. On peut également hâter cette formation en faisant plonger pendant un jour ou deux les électrodes dans de l'acide azotique étendu de moitié d'eau; cette opération dissout une petite quantité de plomb, ce qui rend les électrodes spongieuses à la surface, de sorte que l'oxydation de la lame positive pendant la charge et celle de la lame négative à la décharge et, par suite, la réduction du plomb, pénètrent plus profondément dans les lames.

Pour donner à ses éléments une grande surface sous un petit volume, et, par suite, une faible résistance intérieure, M. Planté emploie deux feuilles de plomb roulées en spirale et séparées par des bandes de caoutchouc, qu'il plonge verticale-

ment dans un vase cylindrique en verre, contenant de l'eau acidulée au dixième par de l'acide sulfurique.

La durée de la formation complète est de plusieurs mois; elle dépend de l'épaisseur des feuilles de plomb.

Pendant les premiers moments de la décharge, la force électromotrice est de 2,50 volts. Quelques minutes plus tard, elle descend à 2,10 volts, et enfin, pendant les deux tiers de la durée de la décharge, elle reste à 2 volts. La résistance d'un accumulateur de 50 décimètres carrés de surface active et passive varie entre 0,04 et 0,06 d'ohm, suivant le degré de formation.

En associant plusieurs éléments, on obtient une batterie d'accumulateurs qui peut transformer un courant intense sous faible potentiel en faible courant sous potentiel élevé, ou réciproquement. Si l'on a, par exemple, 50 éléments Planté accouplés 25 en quantité et 2 en tension, il est possible de les charger sous une tension de 5 à 6 volts; puis, lorsqu'ils sont chargés, de changer l'accouplement en mettant tous les éléments en tension; le courant de décharge s'effectuera alors sous 100 volts.

L'énergie recueillie pendant la décharge est naturellement moindre que celle dépensée pour la charge. Le rendement atteint facilement 60 pour 100 lorsqu'on emploie convenablement les appareils.

L'élément Planté peut conserver la plus grande partie de sa charge pendant quelques semaines, si on ne l'utilise pas d'une manière continue.

La capacité peut atteindre 4 500 kilogrammètres par kilogramme de plomb, ce qui correspond à 60 kilogrammes de plomb par cheval-heure.

Accumulateur à formation rapide. — M. Faure, dans le but de remédier à la lenteur de formation des accumulateurs, a eu l'heureuse idée de déposer directement les oxydes de plomb sur les électrodes, au lieu d'attendre la formation graduelle de ces dépôts par le courant.

Les électrodes de l'appareil Faure étaient primitivement constituées au moyen de lames de plomb recouvertes d'une

couche de minium mis en pâte avec de l'eau acidulée. Ces lames étaient renfermées dans des sacs en feutre destinés à maintenir le minium contre leurs parois.

Cette disposition a été perfectionnée par MM. Sellon et Volckmar, et aujourd'hui les accumulateurs à formation rapide se composent d'électrodes formées de grilles de plomb, dont les trous sont remplis de minium et de litharge, plongeant dans de l'eau acidulée. En faisant passer un courant assez intense, on réduit presque complètement le mélange de l'électrode négative, et on peroxyde celui de l'électrode positive. La formation est complète en quelques jours.

§ III. — *Piles thermo-électriques.*

Principe des piles thermiques. — Bien que nous ne connaissions aucune application des piles thermo-électriques à l'éclairage, nous ne pouvons nous dispenser de parler de ces appareils; la conversion directe de la chaleur en électricité est un problème si attrayant, sa solution pratique aurait de si heureuses conséquences, qu'il est utile de donner une idée des travaux effectués en vue d'y parvenir, ne fût-ce que pour éviter aux inventeurs une partie des déceptions éprouvées par les pionniers de cette branche scientifique.

En 1822, Seebeck constata que, lorsqu'on soude par leurs bouts deux lames de métaux différents et que l'on maintient les deux soudures à des températures différentes, il se produit un courant dont le sens dépend de la nature des métaux accouplés. C'est sur ce principe de soudures maintenues à des températures inégales que repose la construction de toutes les piles thermo-électriques.

Pour deux métaux donnés, et entre certaines limites, la force électromotrice est proportionnelle à la différence des températures.

On appelle *métal positif* du couple, celui dans lequel le courant va de la soudure froide à la soudure chaude, et *métal négatif*, celui dans lequel le courant va de la soudure chaude à la soudure froide.

La table suivante donne la force électromotrice qui naît dans une batterie thermo-électrique de 1 000 couples, formés par le plomb et divers autres corps, pour chaque degré centigrade de différence de température entre les deux soudures, la température moyenne étant de 20° centigrades.

(Les signes + ou — indiquent que le métal est positif ou négatif par rapport au plomb.)

Bismuth	+ 0,097 volt.
Cobalt	+ 0,022 —
Plomb	+ 0 —
Étain	— 0,0001 —
Cuivre	— 0,0001 —
Platine	— 0,0009 —
Antimoine	— 0,0028 —
Argent	— 0,003 —
Zinc	— 0,0037 —
Fer	— 0,0175 —
Tellure	— 0,502 —
Sélénium	— 0,807 —

La même table permet de déterminer la force électromotrice d'un couple quelconque de la série. — Exemple : la force électromotrice de 1 000 couples bismuth-fer est égale à 0,097 — 0,017 = 0,08 volt.

Pile Noë. — La pile de Noë est formée de maillechort et d'un alliage à base d'antimoine. La soudure active n'est pas chauffée directement; elle est renfermée dans une capsule en laiton, du centre de laquelle émerge une tige de cuivre rouge terminée en pointe, laquelle pointe est chauffée par un bec de gaz.

La soudure froide est faite à l'étain; pour faciliter le refroidissement, on soude plusieurs feuilles minces de laiton présentant une grande surface et pouvant être maintenues à une faible température par l'air ambiant. Cet élément a une force électromotrice de 1/16 de volt, et une résistance intérieure de 1/30 d'ohm.

Pile Clamond. — La pile thermique de Clamond est formée d'un alliage zinc-antimoine, et, comme deuxième métal, de fer. Les couples sont disposés en couronnes et superposés, de ma-

nière à fournir une force électromotrice relativement grande sous un faible volume.

Une pile Clamond de 50 couples développe 8 volts, et a une résistance intérieure de 2 à 3 ohms.

L'inventeur avait construit, il y a une dizaine d'années, une pile puissante, chauffée au coke, dont le courant était employé à l'éclairage électrique. Cette pile produisait une force électromotrice de 109 volts et présentait une résistance intérieure de 15 ohms. Elle développait une puissance d'environ 1/2 cheval avec une dépense de 10 kilogrammes de coke par heure.

Au point de vue économique, cet appareil était donc très supérieur à tous les systèmes de piles hydro-électriques connus ; mais il s'est rapidement détérioré et n'a plus été reconstruit depuis.

Piles Clamond-Carpentier. — Dans cette pile les couples sont également constitués par le fer ou le nickel soudé à un alliage de zinc et d'antimoine. Chaque couple est logé dans un des compartiments d'une couronne en terre réfractaire, laquelle protège les éléments contre l'action directe de la flamme. Une disposition spéciale empêche le métal, qui viendrait à fondre, de sortir des cellules où il est renfermé, de sorte que le courant ne serait pas interrompu par cette fusion.

CHAPITRE III

MAGNÉTISME ET INDUCTION

§ I. — *Magnétisme.*

Aimants. — Les puissants courants dont on se sert pour l'éclairage, sont rarement obtenus au moyen de piles; ils sont presque exclusivement dus à des transformations d'énergie dynamique s'opérant sous l'influence d'actions magnétiques.

L'étude des courants électriques se trouve ainsi liée à celle des aimants ou, tout au moins, à la connaissance des quelques phénomènes magnétiques que nous allons exposer sommairement.

L'oxyde de fer (3 équivalents de fer et 4 équivalents d'oxygène), appelé *pierre d'aimant,* jouit de la propriété d'attirer à lui la limaille de fer, et du pouvoir de transmettre cette propriété à certains métaux appelés, pour cette raison, *corps magnétiques.*

Le plus souvent on se sert, pour l'étude du magnétisme, de barreaux d'acier appelés *aimants.* Les aimants sont tantôt droits, tantôt disposés en fer à cheval ou recourbés en demi-cercle, tantôt taillés en losanges, en forme de doubles flèches, etc., etc.; mais, quelles que soient leurs formes et leurs dimensions, ils ont tous certaines régions — ordinairement deux — où leur propriété d'attraction est plus développée, et des points intermédiaires où cette propriété est nulle. Les régions d'activité sont généralement aux extrémités de l'aimant et se nomment les *pôles*; la partie non active est au milieu et se nomme *zone neutre* ou *ligne neutre.*

Quand il existe plus de deux régions actives, on conserve le

nom de pôles pour celles qui sont aux extrémités de l'aimant, et on appelle *points conséquents* les autres régions actives.

Hypothèse d'Ampère. — En étudiant les aimants, Ampère a été amené à considérer chaque molécule d'un corps magnétique comme un véritable aimant, ayant deux pôles et une orientation particulière, le tout constitué de manière que la somme des actions sur un point extérieur soit nulle. Sous l'influence d'une action extérieure, les molécules prennent une orientation spéciale, orientation qui persiste dans l'acier et dans les autres corps doués de *force coercitive*, et qui cesse dans le fer doux avec la cause qui l'a produite. L'origine de l'aimantation des molécules résulterait de courants permanents circulant autour de chacune d'elles.

Théorie de Hughes. — Le professeur Hughes, qui a beaucoup étudié la structure moléculaire et les propriétés magnétiques de l'acier, a fait une théorie complète de l'action magnétique, dans laquelle il démontre :

1° Que chaque molécule d'une pièce d'acier, de fer ou de tout autre métal magnétique est un aimant distinct et indépendant, ayant deux pôles et dans lequel le magnétisme est distribué comme dans un barreau aimanté ;

2° Que chaque molécule ou sa polarité peut tourner ou changer dans un sens ou dans l'autre, sous un effort mécanique ou sous l'influence d'actions physiques telles que celles du magnétisme et de l'électricité;

3° Que la polarité ou le magnétisme inhérent à chaque molécule est une quantité constante, comme la gravité, qu'on ne peut ni augmenter ni diminuer;

4° Que, quand on a une neutralité extérieure, c'est-à-dire quand il n'existe que peu de magnétisme sensible ou apparent, les molécules ou leurs polarités se disposent de manière à satisfaire à leur attraction mutuelle par le chemin le plus court et en constituant ainsi un circuit fermé;

5° Que, quand le magnétisme se manifeste, les molécules ou

leurs polarités ont tourné symétriquement dans un sens donné, en produisant un pôle Nord si la rotation a lieu par rapport à la pièce d'acier, ou un pôle Sud si la rotation a lieu en sens contraire.

Dans le magnétisme sensible ou apparent, on a encore une disposition symétrique mais dans laquelle le cycle d'attraction n'est pas complet, sauf quand une armature extérieure relie les deux pôles.

Méridien magnétique. — Lorsqu'un petit barreau d'acier est suspendu par son centre de gravité, il est en équilibre indifférent; mais, si on l'aimante, il prend une position déterminée, à laquelle il revient toujours lorsqu'on l'en a écarté. La direction de ce barreau est le *méridien magnétique*; elle diffère peu de celle du méridien terrestre. L'extrémité du barreau qui se dirige vers le Nord se nomme *pôle nord* ou *pôle austral*; l'autre extrémité, qui se dirige vers le Sud, se nomme *pôle sud* ou *pôle boréal*.

Champ magnétique d'un aimant. — Un barreau aimanté exerce autour de lui une action toute particulière : lorsqu'on approche de lui une aiguille en acier ou en fer, suspendue à un fil ou disposée sur un pivot de façon à pouvoir se déplacer librement autour d'un axe vertical, cette aiguille prend une position bien déterminée, suivant qu'elle est plus ou moins distante des pôles ou de la zone neutre. Les oscillations qui animent cette aiguille, avant qu'elle ait pris cette position d'équilibre, indiquent la grandeur de l'attraction en chaque point : lorsqu'elles sont courtes et rapides, la force est intense; lorsqu'elles sont longues et lentes, la force est faible.

On nomme *champ magnétique* l'espace soumis aux influences magnétiques d'un aimant; tant que l'aiguille dont nous parlons ne se trouve pas en équilibre indifférent, elle est dans le champ magnétique de l'aimant.

Pour étudier les propriétés d'un aimant ou barreau aimanté, il suffit de placer cet aimant à plat, de manière à ce que les 2 pôles agissent, ou de bout, pour qu'un seul pôle soit en

action, sur une feuille de carton ou de verre qu'on saupoudre de limaille de fer au moyen d'un tamis. Dans leur chute, les particules de fer se disposent suivant des directions très caractéristiques, et en masses d'autant plus serrées qu'elles se rapprochent davantage des pôles. Les dessins résultant de cet arrangement de la limaille se nomment *fantômes magnétiques* ou *spectres magnétiques*.

La figure 3 représente le fantôme magnétique d'un barreau

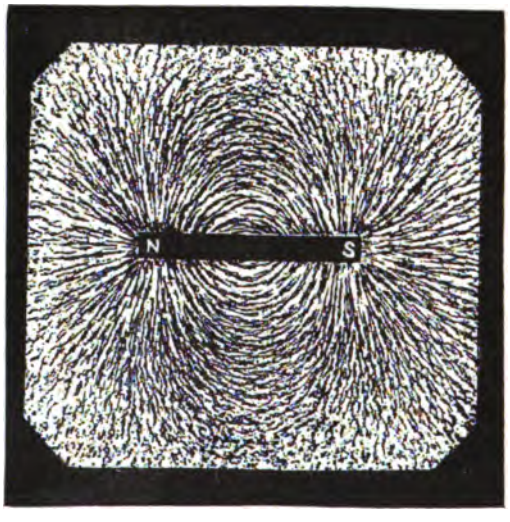


Fig. 3. — Fantôme magnétique d'un barreau aimanté placé horizontalement.

aimanté placé horizontalement, et la figure 4, celui d'un aimant placé verticalement sur la feuille de carton.

Lignes de force. — En examinant les fantômes magnétiques ci-contre, on remarque que les grains de limaille se disposent suivant des lignes déterminées, et que ces lignes sont beaucoup plus nombreuses aux pôles, c'est-à-dire là où l'intensité magnétique est plus grande. Ces lignes sont désignées sous le nom de *lignes de force*. Elles servent à apprécier le sens, la direction et la grandeur de la force agissant en un point donné d'un champ, ou la valeur totale d'un champ magnétique.

On admet, dans les calculs, que le nombre des lignes qui s'échappent d'un pôle est proportionnel à l'intensité du pôle.

L'expression *flux de force* remplace quelquefois celle de *nombre de lignes de force*.

L'examen de la figure théorique 5, qui représente le champ magnétique d'un aimant droit, montre que les lignes de force sont des courbes allant d'un pôle à l'autre. On admet qu'elles sont dirigées extérieurement du pôle Nord vers le pôle Sud, et qu'elles

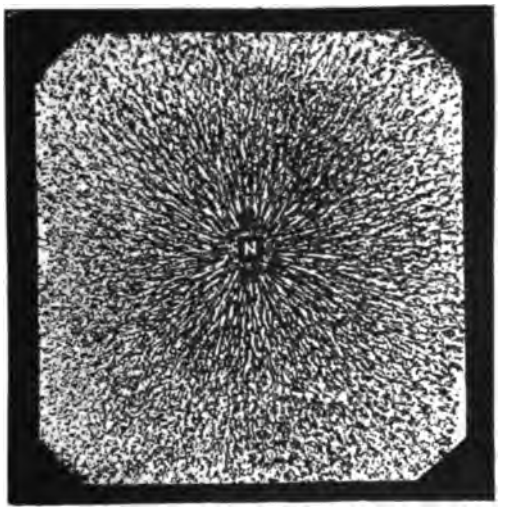


Fig. 4. — Fantôme magnétique d'un aimant placé verticalement.

se ferment du pôle Sud au pôle Nord à travers l'aimant. Une aiguille aimantée N S, promenée le long d'une ligne de force, se place toujours tangentiellement à la courbe, et de telle manière que la ligne de force entre dans l'aiguille par le pôle Sud et en sorte par le pôle Nord.

Lois de Faraday. — Faraday a démontré :

1° *Que toute ligne de force tend toujours à être aussi courte que possible*;

2° *Que deux lignes de force parallèles et de même sens se repoussent*;

3° *Que le nombre des lignes de force qui passent en chaque point est proportionnel à la grandeur de la force magnétique en ce point.*

Conformément à ces lois, quand deux aimants sont près l'un de l'autre, leurs lignes de force exercent les unes sur les autres des actions qui en changent les directions et en modifient la distribution.

Champ magnétique uniforme. — Un champ magnétique dans lequel toutes les lignes de force sont des droites parallèles et équidistantes est dit uniforme. Le magnétisme terrestre, par exemple, possède un champ qu'on peut considérer comme uniforme, car, si l'on considère un espace peu étendu, les méri-

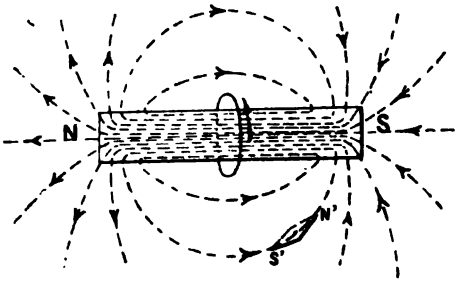


Fig. 5. — Lignes de force.

diens magnétiques forment des lignes très approximativement parallèles et équidistantes.

Moment magnétique d'un barreau. — On appelle *moment magnétique* d'un barreau aimanté le produit de l'intensité magnétique de l'un des pôles par la distance des deux pôles.

En désignant par h l'intensité d'un champ uniforme ou la grandeur de la force qui agit sur l'unité de pôle; par l la distance des pôles; par $+ p$ l'intensité du pôle Nord de l'aimant; par $- p$ l'intensité du pôle Sud; et par M le moment magnétique, nous aurons pour les deux forces égales qui sollicitent les pôles: ph et $- ph$.

Ces forces forment un couple qui tend à orienter le barreau, dont le moment magnétique est :

$$M = pl.$$

Actions réciproques des courants et des aimants. — Lois d'Ampère :

1° *Un courant électrique agissant sur une aiguille aimantée tend toujours à la placer dans une position perpendiculaire à la sienne, de manière que le pôle Nord de l'aiguille soit à la gauche du courant* ;

(La gauche du courant est définie par la position d'un observateur supposé placé suivant la direction même du courant et

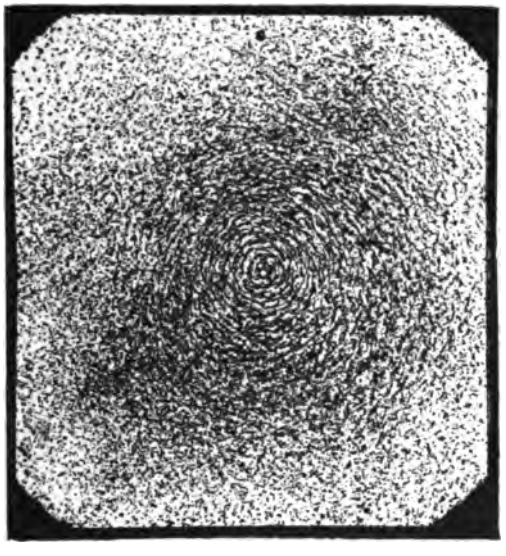


Fig. 6. — Champ magnétique d'un courant.
(Le fil conducteur vu de bout.)

ayant la face tournée vers l'aiguille, de telle sorte que ses pieds soient du côté du pôle positif et sa tête du côté négatif; en d'autres termes, de telle sorte que le courant entre par ses pieds et sorte par sa tête.)

2° *Lorsqu'un courant et un aimant sont en présence, l'action exercée entre un des pôles de l'aimant et une portion infiniment petite du conducteur a une direction perpendiculaire au plan qui passe par le pôle et l'élément de courant. Cette action varie en raison inverse du carré de la distance du pôle à l'élément ; elle est proportionnelle à l'intensité du courant, à la quantité de magnétisme du*

pôle et au sinus de l'angle que fait la direction de l'élément avec la droite qui le joint au pôle.

Actions magnétiques des courants sur les courants. — Lois d'Ampère :

1° *Deux courants parallèles et de même sens s'attirent ;*

2° *Deux courants parallèles et de sens contraires se repoussent ;*

3° *Deux courants angulaires s'attirent s'ils s'approchent ou s'éloignent tous les deux à la fois de leur point de croisement ; ils se repoussent si l'un s'approche de ce point tandis que l'autre s'en éloigne ;*

4° *L'action qui s'exerce entre deux courants est proportionnelle au produit des intensités de ces courants par leur longueur ; elle varie en raison inverse du carré de leur distance ;*

5° *Deux éléments constitutifs d'un même courant se repoussent.*

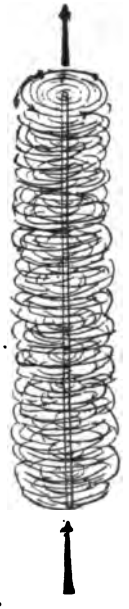


Fig. 7. — Tourbillon magnétique existant autour d'un fil parcouru par un courant électrique.

Champ magnétique d'un courant. — Si on perce un trou dans une feuille de carton et qu'on fasse passer dans ce trou un conducteur traversé par un courant, on observe que ce courant a un champ magnétique bien caractérisé.

Il suffit, pour faire cette observation, de saupoudrer la carte avec de la limaille de fer ; on voit alors (Fig. 6) les grains de limaille se disposer en cercles concentriques suivant des lignes de force entourant complètement le fil.

Le conducteur tout entier est ainsi enveloppé d'une sorte de tourbillon magnétique dont la figure 7 donne une idée suffisamment exacte.

Solénoïde. — On appelle *solénoïde* une suite AB de petits courants circulaires de même sens, dont les plans sont perpendiculaires à la ligne qui joint leurs centres (Fig. 8).

En pratique, le solénoïde est formé d'un conducteur unique

recouvert d'une substance isolante et enroulé en hélice sur un mandrin cylindrique de façon que les spires soient très rapprochées l'une de l'autre.

Les solénoïdes se comportent exactement comme des aimants : leurs extrémités s'attirent ou se repoussent ; ils agissent sur l'aiguille aimantée, et s'orientent suivant le méridien magnétique, lorsqu'ils sont libres de se mouvoir autour d'un axe vertical, etc.

Pour reconnaître la nature des pôles d'un solénoïde, on suppose un homme couché sur le fil, de façon qu'il regarde l'axe et que le courant entre par ses pieds et sorte par sa tête ; le pôle Nord ou austral est à sa gauche, et le pôle Sud ou boréal est à sa droite (Fig. 9). Le courant va ainsi de *m* en *n*.

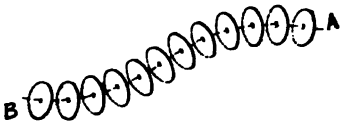


Fig. 8. — Solénoïde théorique.

Fig. 9. — Position des pôles d'un solénoïde.

Un barreau d'acier, non aimanté, introduit dans l'hélice d'un solénoïde pendant le passage d'un courant, s'aimante et conserve son aimantation après l'interruption du courant. Si on remplace le barreau d'acier par un barreau de fer doux, ce barreau s'aimante ; mais l'aimantation disparaît dès que le courant est interrompu.

Électro-aimants. — On appelle *électro-aimant* un barreau de fer doux sur lequel est enroulé un fil métallique recouvert d'une substance isolante. Le passage d'un courant à travers ce fil aimante le barreau et y détermine deux pôles de noms contraires. Pour distinguer les pôles d'un électro-aimant, il suffit de connaître la direction du courant, le pôle Sud est celui par rapport auquel le courant circule dans le sens des aiguilles d'une montre.

Le fantôme magnétique d'un électro-aimant (Fig. 10) a très approximativement l'aspect d'un fantôme d'aimant ordinaire ;

seules, les lignes de force avoisinant la région neutre sont plus confuses et plus denses. Pour faire agir les deux pôles d'un électro-aimant sur une armature unique, on courbe le barreau de manière à lui donner la forme d'un fer à cheval, ou mieux on dispose sur une traverse en fer doux deux barreaux parallèles qu'on garnit de fil isolé, sans solution de continuité et sans changement de sens d'un barreau à l'autre. L'électro-aimant se présente alors sous la forme indiquée (Fig. 11) qui est la plus employée dans les appareils de mesures et de laboratoire, et même dans la construction des machines dynamos industrielles.

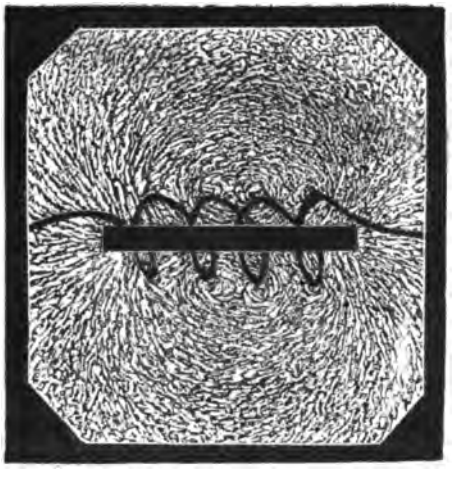


Fig. 10. — Fantôme magnétique d'un électro-aimant.

Magnétisme rémanent. — Un électro-aimant ne doit ses propriétés d'attraction et de répulsion qu'au courant électrique qui circule dans le fil. Si ce courant vient à être interrompu, le fer central perd ses propriétés et abandonne immédiatement la charge qu'il pouvait porter. Cependant il conserve encore une très faible quantité de magnétisme qu'on désigne sous le nom de *magnétisme rémanent* ou de *magnétisme résiduel* et qui dépend uniquement de la pureté du métal. Le fer chimiquement pur conserve si peu de magnétisme qu'il est souvent difficile d'en constater l'existence.

Métaux magnétiques. — Le fer n'est pas le seul métal magnétique connu. L'acier, la fonte, le nickel et le cobalt peuvent également s'aimanter sous l'action d'un courant.

Des barreaux, identiques comme forme et dimensions, placés dans un même champ magnétique prennent des aimantations proportionnelles aux nombres suivants, lorsque le champ considéré est peu intense :

Fer.....	32,8	Acier dur	17,4
Fonte.....	23	Nickel.....	15,3
Acier doux.....	21,6	Cobalt.....	32,8.

Ces nombres appelés *coefficients d'aimantation* varient avec la texture et le degré de pureté des métaux employés.

Dans la construction des machines électriques on emploie exclusivement du fer ou de la fonte, et quelquefois ces deux substances simultanément.

§ II. — *Induction.*

Résumé historique. — Œrstedt, physicien danois, remarqua, en 1819, qu'une aiguille aimantée était déviée de sa direction lorsqu'elle était placée près d'un circuit électrique fermé. Le 11 septembre 1820, de la Rive répéta l'expérience d'Œrstedt à Paris, devant l'Académie des Sciences; sept jours après, le 18 septembre, Ampère constata l'action mutuelle de deux courants et celle des aimants sur les courants; le 25 septembre, Arago trouva qu'un courant électrique pouvait donner la propriété magnétique à une barre de fer ou d'acier. Jamais les découvertes sur un même sujet ne surgirent plus rapidement, ne furent plus vite expliquées théoriquement, et ne donnèrent lieu à de plus grandes applications.

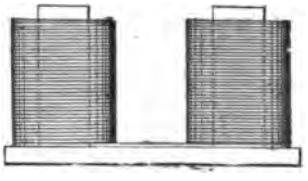


Fig. 11. — Electro-aimant à deux branches.

C'est un physicien anglais, Faraday, qui, en 1830, eut l'honneur de compléter les travaux d'Œrstedt, d'Ampère et d'Arago, en démontrant qu'un aimant pouvait donner naissance à un courant électrique.

Courants d'induction. — Faraday prouva par de nombreuses expériences que, si l'on introduit un barreau aimanté dans une bobine de fil métallique isolé, on y détermine un courant électrique. Il constata également que, lorsqu'un circuit est parcouru par un courant électrique d'un certain sens et qu'on en appproche un autre circuit métallique non traversé par un courant, pendant

tout le temps que dure le mouvement de rapprochement, il naît un courant électrique, de sens inverse du premier, dans le second conducteur. Les courants développés par l'influence d'un aimant ou d'un courant initial se nomment *courants d'induction* ou *courants induits*. L'aimant ou le courant initial se nomme *inducteur*.

La figure 12 représente la disposition adoptée par Faraday pour réaliser son expérience au moyen d'un aimant. Il se servait d'une bobine creuse à un seul fil de 200 à 300 mètres de longueur,

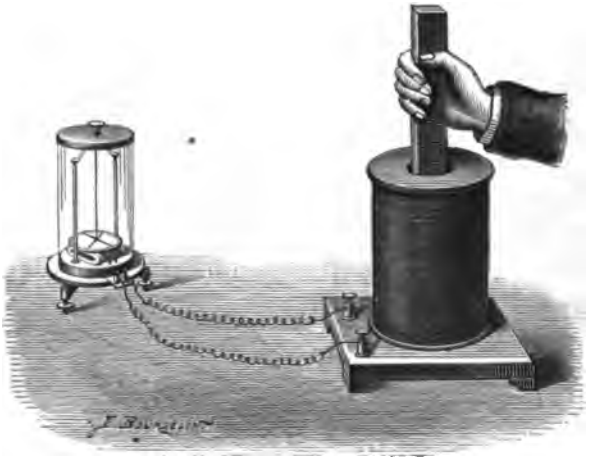


Fig. 12. — Expérience de Faraday avec un barreau aimanté.

fixée sur une planchette. Les deux extrémités du fil de la bobine aboutissaient à un appareil galvanométrique indiquant la présence et l'intensité du courant. En introduisant brusquement un aimant dans la bobine, l'illustre physicien observa les phénomènes suivants :

1° Au moment où le barreau pénètre dans la bobine, le galvanomètre indique l'existence d'un courant d'un certain sens ;

2° Lorsqu'on s'arrête, l'aiguille du galvanomètre revient à zéro ;

3° Au moment où l'on retire le barreau, le galvanomètre indique un nouveau courant inverse du premier.

La figure 13 représente l'expérience avec deux bobines : l'une, celle qui remplace le barreau aimanté, est traversée par le

courant d'une petite pile ; l'autre reçoit le fil à induire. Si l'on plonge la bobine supérieure dans l'autre, on constate qu'il se produit instantanément dans la bobine inférieure un courant de sens inverse du premier. Ce courant cesse pendant tout le temps que la petite bobine reste immobile dans la grande. Si l'on retire rapidement la petite bobine, il naît dans la grande un courant de même sens que le courant inducteur[1].

Force électromotrice d'induction. — La force électromotrice

Fig. 13. — Expérience de Faraday avec un électro-aimant.

d'induction développée dans un conducteur est proportionnelle au nombre de lignes de force magnétiques que coupe ce conducteur par unité de temps. Cette force électromotrice prend naissance dans toutes les parties du conducteur coupant les lignes de force; elle est d'autant plus grande que les lignes coupées sont plus nombreuses, que la longueur du conducteur tra-

1. « Avant les expériences de Faraday, on ne connaissait pas l'*induction* des courants. Le principal phénomène d'induction que l'on avait observé, et dont on n'avait pas donné d'explication satisfaisante, était celui du disque tournant d'Arago. Dans cette expérience, un disque de cuivre tournait rapidement dans un plan horizontal, au-dessus d'une aiguille aimantée ; l'aiguille le suivait dans sa rotation. Cette expérience fut ensuite répétée par Sir John Herschel et Babbage avec des disques de différentes substances. Ils remarquèrent que les phénomènes découverts par Arago ne se reproduisaient qu'avec des disques bons conducteurs. » (*Life of James Clerk Maxwell, by Campbell and W. Garnett*).

Nous empruntons cette citation à un ouvrage anglais pour bien montrer que les travaux antérieurs d'Arago sont connus et appréciés, même parmi les compatriotes de Faraday.

versant le champ est plus grande, et que le mouvement de ce conducteur est plus rapide.

Loi de Lenz. — *Quand on déplace un circuit dans un champ magnétique, le courant induit développé tend à s'opposer au mouvement.*

Cette loi est la confirmation du principe de la conservation de l'énergie. A un courant induit correspond, en effet, un véritable travail électrique susceptible d'être converti en chaleur ou en travail mécanique; il faut donc nécessairement, pour produire ce courant, dépenser une quantité d'énergie équivalente. Le courant induit tend à s'opposer au mouvement, exactement pour la même cause que l'eau élevée au moyen d'une pompe tend à s'opposer au mouvement de cette pompe. Si le conducteur n'éprouvait aucune résistance à se mouvoir dans le champ magnétique, c'est qu'il irait parallèlement aux lignes de force sans les couper ou en en coupant le même nombre; il n'y aurait alors aucun courant induit; mais, dès que le plus petit courant est constaté, on peut être absolument certain qu'il y a une dépense de travail mécanique pour lui donner naissance.

L'examen des fantômes magnétiques permet aux personnes peu habituées aux abstractions scientifiques de se faire une idée assez complète de la génération des courants induits. Les lignes de force, bien qu'invisibles, forment autour des pôles un véritable flux influençant les corps environnants, et empêchant ces corps de les pénétrer librement. Lorsqu'un conducteur est amené dans un champ magnétique, il est lui-même entouré d'un tourbillon de lignes de force, provenant du courant dont il devient le siège; de sorte que les deux systèmes de lignes de force ne peuvent se pénétrer mutuellement que sous un effort assez notable. Cet effort, si peu durable qu'il soit, occasionne une dépense de travail mécanique; et, comme on recueille de l'énergie électrique, on comprend aisément qu'une transformation d'énergie vient d'avoir lieu.

Loi de Maxwell. — Maxwell a démontré que *la force électromotrice d'induction qui agit dans un circuit à un moment quelcon-*

que est égale, en grandeur et en signe, à la vitesse de décroissement du nombre des lignes de force qui traversent le circuit à cet instant.

Le courant induit dans un circuit est tel qu'il s'oppose à chaque instant à la variation du nombre des lignes de force.

Il faut bien se pénétrer de la nécessité de ces variations dans l'induction : si le conducteur et le champ magnétique considérés ne sont dans aucun mouvement relatif, si aucune cause étrangère ne modifie le nombre des lignes de force coupées, si le conducteur se meut parallèlement aux lignes de force sans les couper, si, enfin, le conducteur coupe toujours un nombre égal de lignes de force pendant le même temps et dans un champ magnétique uniforme, il n'y a aucun courant induit, aucune force électromotrice engendrée dans le conducteur.

Pour qu'il y ait induction de courant dans un conducteur, il faut, de toute nécessité, qu'il existe une modification dans le nombre des lignes de force interceptées par ce conducteur.

Lorsque le nombre des lignes de force traversées par un circuit diminue, il se produit, dans ce circuit, une force électromotrice *positive*, dans la direction d'une vis filetée à droite avançant le long des lignes de force; si le nombre des lignes traversées augmente, la force électromotrice est *négative*, et sa direction est celle de la même vis tournant à gauche.

Le sens du courant change avec le signe de la variation, c'est-à-dire lorsque le nombre des lignes de force coupées passe par un maximum.

Méthode pratique pour déterminer le sens d'un courant induit dans un conducteur rectiligne. — On suppose un homme étendu le long du conducteur et placé de manière à ce que le sens du mouvement soit indiqué par son bras droit. Si la face de l'homme est tournée du côté du pôle sud, ses regards seront du même sens que les lignes de force, et le courant entrera par ses pieds pour sortir par sa tête. Dans le cas contraire, si sa face regarde le pôle nord, ses regards seront dans le sens inverse des lignes de force; le courant entrera par sa tête et sortira par ses pieds. Cette méthode, très facile à suivre quand on connaît les pôles de l'inducteur, est basée sur la règle d'Ampère relative aux solénoïdes; elle

sera mise à contribution lorsque nous voudrons établir la théorie des divers générateurs mécaniques d'électricité.

Induction mutuelle des courants. — Les phénomènes d'induction ne sont pas limités au cas d'un conducteur en mouvement dans un champ magnétique; ils ont également lieu sous l'influence mutuelle de circuits voisins les uns des autres. Nous avons dit qu'un courant qui traverse un conducteur était entouré de lignes de force analogues à celles produites par un aimant; si donc nous supposons deux fils parallèles, par exemple, situés à peu de distance l'un de l'autre, et que nous envoyions un courant dans l'un des fils, l'autre traversera les lignes de force du premier, et deviendra naturellement le siège d'un courant induit.

Ce courant induit sera de sens opposé au courant générateur; il persistera à la seule condition que l'on détermine des variations dans le courant initial pour modifier ses lignes de force. Les mêmes phénomènes se manifesteront encore si l'on maintient constante l'intensité du courant inducteur, et qu'on modifie la distance des deux conducteurs, car ces déplacements feront varier le nombre des lignes de force traversées par le deuxième conducteur, ce qui est la condition essentielle de la production des courants induits.

Induction d'un circuit sur lui-même. — Quand on fait passer un courant électrique dans une bobine, il se développe dans les fils de cette bobine un champ magnétique qui donne naissance à un courant opposé au premier. Ce courant a reçu le nom d'*extra-courant de fermeture.*

Au moment précis où l'on cesse d'envoyer le courant principal dans la bobine, les phénomènes précédents se reproduisent en sens inverse; le nombre des lignes de force traversant le circuit diminuant, un courant appelé *extra-courant d'ouverture* se produit et prolonge momentanément le courant inducteur.

Enfin, ces mêmes phénomènes ont lieu chaque fois que l'intensité du courant qui parcourt le circuit vient à varier pour une cause quelconque : diminution ou augmentation de résistance, diminution ou augmentation de vitesse, etc. On les désigne sous le nom d'induction propre ou de *self-induction.*

Courants de Foucault. — Les courants induits se développent non seulement dans les conducteurs, mais encore dans les âmes en fer des électro-aimants ou dans les masses métalliques déplacées dans des champs magnétiques. Ces courants échauffent la masse métallique qu'ils traversent, et absorbent, de ce fait, une certaine quantité d'énergie qui diminue l'effet utile des machines électriques. On les nomme courants de Foucault.

Disque de Faraday. — En 1831, Faraday fit une première application de son admirable découverte et construisit un appareil produisant des courants induits. Cet appareil (Fig. 14)

Fig. 14. — Disque de Faraday.

est composé d'un disque en cuivre tournant entre les pôles d'un aimant. Les courants induits sont recueillis au moyen de ressorts en cuivre dont l'un est en contact avec l'axe, l'autre avec la périphérie du disque; ils sont continus ou *permanents,* suivant l'expression du grand physicien.

Il convient de noter que, dès cette époque, Faraday pensa à substituer les électro-aimants aux aimants ordinaires dans les machines d'induction : « On peut, écrivait-il, obtenir les mêmes effets avec des pôles électro-magnétiques, résultant de l'emploi d'hélices ou de spirales de cuivre, munies ou non de noyaux de fer.

« Le sens du mouvement est exactement le même; mais

l'action est beaucoup plus énergique quand on emploie des noyaux de fer que sans noyaux. »

Expérience de M. Page. — M. Page, célèbre physicien américain, a obtenu, en 1846, des courants induits en modifiant simplement l'état magnétique d'un aimant au moyen de son armature. Un fil de cuivre, recouvert de soie, était enroulé sur les deux branches d'un aimant en fer à cheval, et, lorsque l'expérimentateur approchait ou éloignait brusquement l'armature des pôles de l'aimant, il naissait des courants dans les spires de l'hélice de cuivre.

Cette idée a été reprise par MM. Breton frères, il y a vingt-cinq ans, pour la construction de petites machines médicales. Plus récemment, M. Maiche l'a utilisée d'une manière assez ingénieuse, mais peu industrielle. Nous nous bornons donc à consigner le fait.

CHAPITRE IV

GÉNÉRATEURS MÉCANIQUES D'ÉLECTRICITÉ

§ I. — *Des induits.*

Définitions. — Les générateurs qui produisent de l'électricité en absorbant de l'énergie mécanique se nomment des *dynamos*.

Les premiers appareils imaginés pour l'obtention de ce résultat utilisaient l'influence magnétique des aimants en acier et étaient désignés sous le nom de *machines magnéto-électriques;* plus tard, quand les électro-aimants remplacèrent les aimants dans la construction de ces appareils, on les appela *machines dynamo-électriques*; enfin, par abréviation, on dit simplement aujourd'hui des *dynamos*.

Le genre du mot n'est pas encore bien arrêté, et les auteurs écrivent indifféremment *un* ou *une* dynamo. Nous emploierons le féminin en considérant le mot *machine* comme un préfixe sous-entendu.

Une dynamo se compose essentiellement d'un *inducteur* destiné à produire un champ magnétique; d'un *induit,* ou *armature,* constitué par la portion du circuit où se produit le courant sous l'action du champ magnétique; et d'un *collecteur* sur lequel on recueille le courant induit pour s'en servir extérieurement. Le collecteur fait généralement partie intégrante de l'induit.

L'inducteur et l'induit doivent être, comme nous l'avons déjà dit, en mouvement relatif. Il existe cependant des machines où ces deux organes sont fixes, et qui fonctionnent par de simples variations apportées dans le champ magnétique, au moyen de frotteurs tournant autour des collecteurs. Le plus souvent, c'est l'induit qui tourne devant les pôles fixes de l'inducteur; dans un

certain nombre de dynamos, l'inducteur se meut et l'induit reste en repos ; enfin plusieurs constructeurs ont établi des appareils dans lesquels l'inducteur et l'induit tournent simultanément en sens opposés, pour diminuer la vitesse absolue de l'un des deux.

Nous allons examiner quelles sont les principales formes qui ont été données aux induits et aux inducteurs, en faisant précéder cet examen de quelques considérations théoriques sur la nature des courants engendrés dans les champs magnétiques.

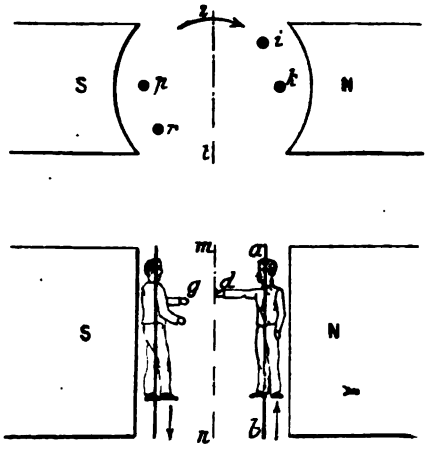


Fig. 15. — Induction dans un conducteur rectiligne.

Conducteur rectiligne en mouvement dans un champ magnétique. — La figure 15 représente, en élévation et en plan, les pôles N et S d'un aimant quelconque et un conducteur *a b* pouvant tourner autour de l'axe *m n* du champ magnétique. Les lignes de force sont naturellement dirigées du pôle nord au pôle sud. Le conducteur *a b* pourra tourner soit dans le sens des aiguilles d'une montre, soit en sens inverse. Nous admettrons d'abord qu'il tourne dans le sens des aiguilles d'une montre (c'est-à-dire dans le sens indiqué par une flèche dans la vue en élévation des pôles magnétiques), et nous chercherons à déterminer quel sera le sens du courant induit dans le conducteur pendant qu'il effectuera une révolution complète.

Le conducteur partant du point *i* se dirigera le long du pôle nord de haut en bas, en traversant des lignes de force dont le nombre ira en croissant, pour un même arc parcouru, jusqu'au milieu des pôles et en décroissant jusqu'à l'axe de séparation des pôles. La force électromotrice développée par l'aimant dans le fil au moment considéré sera donc de plus en plus grande de *i* en *k*, et elle ira ensuite en diminuant progressivement jusqu'en *t* où elle sera nulle.

Supposons un homme couché sur le conducteur de telle sorte que son bras droit indique le sens du mouvement. La face de cet homme sera tournée du côté du pôle sud, les regards dans le sens même des lignes de force; et, si le courant le traverse, il entrera par ses pieds pour sortir par sa tête. Arrivé en *k*, notre homme regardera toujours le pôle sud; le sens du courant dans le conducteur ne variera donc pas, et il en sera ainsi jusqu'en *t* où les regards de l'homme seront dirigés perpendiculairement aux lignes de force. A ce moment, il n'y aura aucun courant induit dans le conducteur.

A partir du point *t*, l'homme placé sur le conducteur tournera progressivement sa face du côté du pôle nord, et ses regards seront dirigés en sens inverse des lignes de force. Si le courant continue à le traverser, il entrera par sa tête et sortira par ses pieds, c'est-à-dire en sens opposé à celui que nous avons constaté précédemment. Ce nouveau sens persistera de *r* en *p* et dans toute la zône du pôle sud, jusqu'en *z*, pour s'inverser de nouveau à partir de la ligne de partage *z t*.

Si, au lieu de tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, le conducteur tournait dans le sens opposé, les choses se passeraient exactement de la même manière, avec cette seule différence que le courant induit dans la zone nord se dirigerait de *a* en *b*, et que le courant induit dans la zone sud se dirigerait de *b* en *a*. Il suffit de mettre la lettre S à la place de la lettre N, et réciproquement, et de conserver la figure sans autre changement pour montrer ce qui aurait lieu si le sens de rotation du conducteur venait à changer. Cela prouve que le sens de rotation n'est pas absolu, et qu'il doit toujours être indiqué avec la position des pôles. Ainsi, pour exprimer le mouvement du conducteur *a b* représenté figure 15, il faut avoir soin de dire : le fil tourne dans le sens des aiguilles d'une montre lorsqu'on a le pôle nord à sa droite.

Machine simple théorique. — A la place d'un simple conducteur, nous allons maintenant considérer une spire complète *a b c d e f* tournant dans un champ magnétique, figure 16.

Nous admettrons, comme précédemment, que cette spire

tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, le pôle nord étant à droite de l'observateur.

D'après ce que nous avons expliqué au sujet du conducteur simple, nous pouvons voir de suite que, en allant de *g* en *h*, le fil *d e* sera traversé par un courant se dirigeant de *e* à *d*, et que le fil *c b* sera le siège d'un courant allant de *c* en *b*. Les parties *cd*, *ab* et *ef* ne seront pas induites ; mais elles seront traversées, comme tout le circuit, par le courant total des deux parties qui se meuvent dans le champ magnétique ; les deux courants partiels sont réunis de telle sorte qu'ils marchent dans le même sens. La spire est ainsi le siège d'un courant de sens constant pendant une demi-révolution. Lorsqu'elle est revenue dans son plan initial *g h* et qu'elle opère son mouvement de *h* en *g*, les lignes de force traversées produisent des courants de même sens que précédemment ; mais la branche *c b* de la spire se trouve alors sous l'influence du pôle Nord, tandis que la branche *d e* est sous l'influence du pôle Sud. Ces deux branches sont donc le siège d'un courant ayant un sens contraire à celui qui les traversait précédemment, de sorte que les courants obtenus pendant les deux demi-révolutions sont égaux, mais de sens contraires.

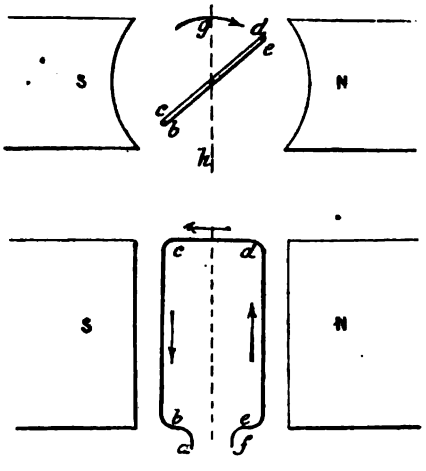


Fig. 16. — Machine simple théorique.

Collecteur. — En faisant tourner la spire autour de son axe, dans un sens ou dans l'autre, on obtiendra une série de courants d'induction, inversés à chaque demi-révolution, et appelés pour cette raison *courants alternatifs*. Ces courants peuvent être recueillis sans changement, ou être redressés de manière à être toujours de même sens ; dans le premier cas, on se sert d'un *collecteur*, et, dans le deuxième cas, d'un *commutateur*. (Les deux termes *collecteur* et *commutateur* sont souvent employés l'un pour

l'autre ; un grand nombre d'auteurs les considèrent comme étant synonymes).

Lorsqu'il s'agit de recueillir les courants alternatifs sans les redresser préalablement, on peut faire usage de deux anneaux parallèles (Fig. 17) montés sur le même axe, isolés électriquement l'un de l'autre, et soudés, le premier avec une des extrémités et le second avec l'autre extrémité de la spire induite. Deux ressorts ou frotteurs appuient sur les anneaux et restent en contact avec eux pendant toute la durée du mouvement. Le circuit extérieur est relié au circuit intérieur, c'est-à-dire à la spire, par l'intermédiaire de ces *balais*, et la force électromotrice d'induction peut servir ainsi, en dehors du champ magnétique, aux divers usages auxquels elle convient. Le courant sera, comme on le voit, alternatif dans le circuit total, aussi bien dans la spire que dans les conducteurs attachés aux balais et dans les appareils où il est utilisé.

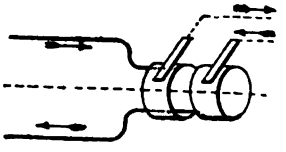


Fig. 17. — Collecteur simple.

Commutateur. — Pour obtenir des courants redressés, on remplace le collecteur par l'appareil représenté figure 18.

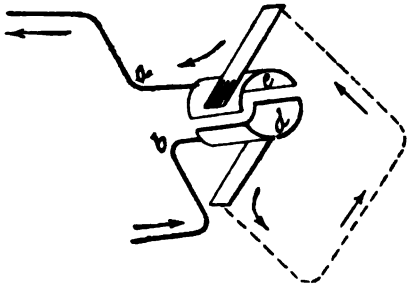


Fig. 18. — Commutateur.

Cet appareil est formé de deux coquilles demi-cylindriques *c* et *d*, placées en regard l'une de l'autre, de manière à former un cylindre unique sur lequel les deux *recueilleurs* du courant viennent frotter ; chacune de ces coquilles est soudée avec une des extrémités de la spire *a b* ; les ressorts ou balais qui recueillent le courant sont placés de telle sorte que leur contact avec les demi-cylindres sont intervertis au moment même où le courant change de sens dans la spire. La branche *a*, par exemple, est parcourue par un courant qui va en s'éloignant de l'observateur quand elle est en haut de la figure, et en s'en rapprochant quand elle est en bas. La branche *b* se trouve exactement

dans les mêmes conditions ; le courant qui la traverse s'approche de l'observateur dans sa position inférieure, et va en sens inverse lorsqu'elle se trouve en haut. De sorte que le balai fixe, placé à la partie supérieure, ne recueille que des courants dirigés vers l'arrière du plan de la figure, tandis que le balai placé en bas ne recueille que des courants allant vers l'observateur. L'examen de la figure montre que ces courants sont toujours de même sens dans le circuit extérieur.

L'ensemble du circuit se trouve partagé en deux parties bien distinctes par le commutateur : la partie intérieure où se produit

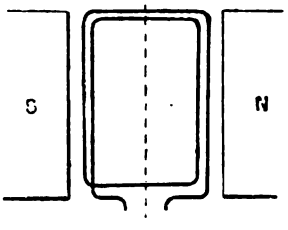


Fig. 19. — Machine à bobine rectangulaire.

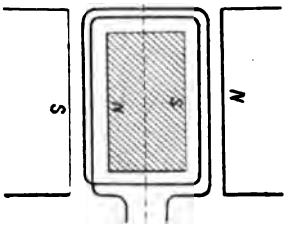


Fig. 20. — Addition d'un fer central.

l'induction, qui est traversée par des courants alternatifs, et la partie extérieure, celle qu'on utilise, qui est parcourue par des courants dont le sens est invariable.

Machine à bobine rectangulaire. — Si, au lieu d'une simple spire (Fig. 16), on fait tourner une spire double (Fig. 19) dans le même champ magnétique, on obtiendra une action inductive double, et, par suite, une force électromotrice double pour un même nombre de révolutions par seconde.

Cette force électromotrice sera encore augmentée si on multiplie le nombre des spires, et si l'on introduit à l'intérieur un noyau de fer doux (Fig. 20). Ce fer doux peut être fixe comme les pièces polaires N et S, ou se mouvoir avec les spires. Dans les deux cas, il aura pour effet de condenser les lignes de force près des pôles magnétiques, et d'augmenter leur puissance inductive. Les pôles N et S de l'inducteur développeront dans le fer intérieur, et en face d'eux, des pôles de noms contraires S N,

dont l'effet magnétique se combinera avec celui des premiers pour produire une force électromotrice d'induction plus élevée.

L'immobilité de la pièce de fer donne aux pôles secondaires une fixité complète. Le mouvement de cette pièce en regard des pôles principaux N S aurait pour effet de déplacer les pôles dans l'intérieur du fer, mais n'enlèverait rien à leur fixité dans l'espace : le pôle S serait toujours en face du pôle initial N, et le pôle N en face du pôle initial S.

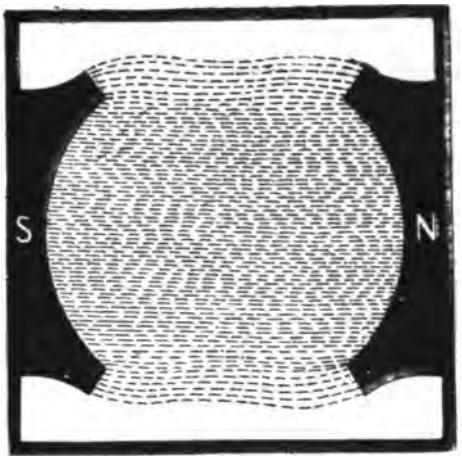


Fig. 21. — Fantôme sans anneau intérieur.

Principe des machines à induit annulaire. — Les dynamos Gramme si répandues dans l'industrie ont un anneau en fer, placé à l'intérieur, entre les deux pôles magnétiques. Cet anneau a la propriété de modifier la direction et la densité des lignes de force, comme l'indiquent les fantômes, figures 21 et 22.

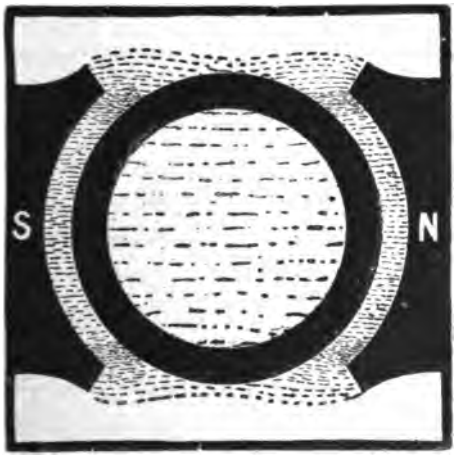


Fig. 22. — Fantôme avec anneau de fer.

La figure 21 représente le fantôme compris entre les pôles NS d'un électro-aimant, et la figure 22 montre le fantôme compris entre les mêmes pôles quand on ajoute un anneau de fer doux dans l'intérieur du champ magnétique. L'examen de ces deux figures fait ressortir les différences suivantes dans les lignes de force des deux champs magnétiques :

1° Les lignes sont plus nombreuses dans les espaces annulaires (Fig. 22) que dans le voisinage des pôles (Fig. 21);

2° Les lignes sont distribuées plus régulièrement (Fig. 21), et elles sont plus denses près des extrémités polaires (Fig. 22);

3° Les lignes sont presque nulles dans l'espace central (Fig. 22), et elles conservent au centre l'uniformité qu'elles ont aux extrémités polaires (Fig. 21).

Ceci constaté, nous reprendrons la théorie des conducteurs rectilignes en mouvement dans un champ magnétique. Soit *a b*, un conducteur (Fig. 23) tournant, dans le sens des aiguilles d'une montre, autour de l'axe *m n*, entre les pôles N S; sous l'influence des lignes de force qu'il coupe, ce conducteur sera le siège d'une force électromotrice dont le sens est indiqué par la flèche, et dont la grandeur dépendra de la vitesse de translation dudit conducteur à travers le champ magnétique, et de son rapprochement du pôle Nord. Un deuxième conducteur *a' b'*, placé près du premier, et animé du même mouvement autour de l'axe *m n*, sera également le siège d'une force électromotrice de même sens que la précédente, mais de grandeur moindre, puisque la vitesse sera moins grande, et que *a' b'* est plus éloigné du pôle Nord que *a b*. En réunissant les extrémités *a* et *a'* par un fil conducteur, et en recueillant les courants par les extrémités *b* et *b'* à l'aide d'un collecteur (Fig. 17), on obtiendra des courants alternatifs dont la force électromotrice sera la différence entre les forces électromotrices induites dans *a b* et *a' b'*, et dont le sens sera toujours celui de la branche *a b*. L'adjonction du conducteur *a' b'* aura donc eu pour effet de diminuer la force électromotrice, produite dans *ab*, d'une quantité égale à celle produite en elle-même; car il en est des forces électromotrices en opposition comme de toutes les autres forces, la plus grande détruit la plus petite et se trouve réduite à la différence des deux forces en jeu.

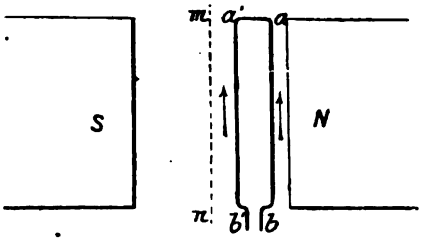


Fig. 23. — Théorie de la machine Gramme.

Le courant s'établit dans le sens de la force électromotrice la plus élevée, et le fil intérieur ne sert en réalité que de conducteur fermant le circuit, au même titre que les fils réunissant *a* et *a'*, et les fils *b* et *b'* allant au collecteur.

Une machine constituée par des spires ainsi formées fournirait des courants d'autant plus faibles que les deux fils parallèles seraient plus rapprochés l'un de l'autre, et qu'ils seraient tous deux plus éloignés des pôles ; mais, si on interpose entre ces fils une pièce de fer (Fig. 24), les courants deviendront sensiblement plus grands. Cette pièce de fer servira en effet d'écran magnétique comme le cercle de la figure 22; il n'y aura plus ou presque plus de lignes de force dans la partie parcourue par *a' b'*, et, par suite, plus ou presque plus de courants induits dans ce conducteur; de sorte que les courants induits par *a b* pourront être recueillis presque en totalité.

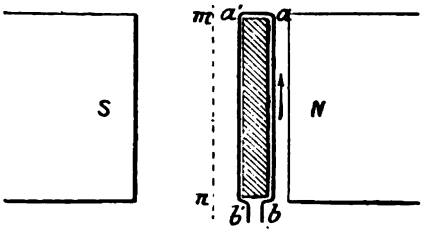


Fig. 24. — Théorie de la machine Gramme.

En recouvrant un anneau de fer (Fig. 25) d'un conducteur sans fin formant autour de lui une série de spires toujours dirigées dans le même sens, et en faisant tourner cet anneau entre les pôles d'un aimant quelconque N S, on remarquera que toutes les spires de la demi-circonférence *a n' b* seront traversées par des courants induits de même sens, et que toutes les spires de la demi-circonférence *b s' a* seront traversées par des courants induits de sens opposé au premier. La force électromotrice induite dans les spires du côté N sera égale à la somme des forces électromotrices développées par chacune des spires en action dans la région du pôle Nord ; la force électromotrice induite dans les spires du côté S sera égale à la somme des forces électromotrices développées par chacune des

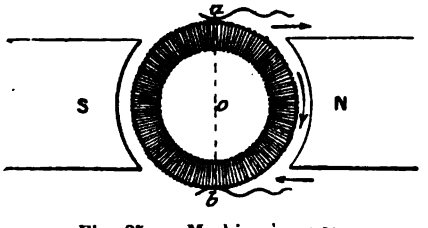


Fig. 25. — Machine à anneau.

spires en action dans la région du pôle Sud ; de sorte que, en plaçant les frotteurs fixes aux points *a* et *b*, et en ayant soin de dénuder le fil de toutes les spires dans la partie où chacune d'elles vient au contact des frotteurs, on pourra, sans aucun collecteur ni commutateur, recueillir et utiliser extérieurement des courants allant toujours dans le même sens.

Il y a une analogie complète entre les circuits de deux piles hydro-électriques, formées chacune d'un même nombre d'éléments couplés en tension, puis associées en quantité, pour ne former plus qu'un courant unique de même sens, et les circuits induits *a s' b* et *a n' b* qui sont également formés chacun d'un même nombre de spires élémentaires induites, couplées en tension, puis réunies en quantité au moment du contact des balais, pour ne former qu'un courant d'intensité double, allant toujours dans le même sens.

Nous avons expliqué pourquoi les courants induits, dans les fils intérieurs, vu le peu d'importance des lignes de force existant dans l'intérieur de l'anneau, nuisaient très peu à ceux développés dans le champ magnétique annulaire ; nous devons ajouter que les pôles N et S de l'inducteur déterminent dans l'anneau en fer des pôles de noms contraires *s'* et *n'*, et que ceux-ci donnent naissance, dans toutes les parties du conducteur enroulées sur l'anneau, à des courants ayant le même sens que ceux induits dans le champ magnétique annulaire principal ; ces courants induits par l'anneau viennent renforcer ceux engendrés directement dans le champ magnétique de l'inducteur, et le résultat final est tel que l'influence contraire de la partie intérieure est non seulement annulée, mais convertie en une influence directe s'ajoutant à celle de la partie extérieure.

Il est à remarquer que l'anneau de fer participe au mouvement des spires induites, tandis que les pôles *n'* et *s'* développés dans cet anneau par les pôles S et N de l'inducteur restent fixes dans l'espace, vis-à-vis de ceux-ci. Pour obtenir le maximum d'effet, il est nécessaire d'employer pour l'anneau un métal aussi pur que possible, afin que les pôles puissent voyager rapidement dans le fer, sans y laisser de magnétisme rémanent, lequel modifierait la force électromotrice totale des courants recueillis

par les frotteurs aux points de partage du champ magnétique.

Principe des machines à solénoïdes. — On peut encore faire tourner des solénoïdes devant des pôles magnétiques, et obtenir des courants d'induction alternatifs facilement redressables. Un solénoïde (Fig. 26), placé normalement aux pôles et tournant autour de l'axe du champ magnétique, sera traversé par des courants induits.

D'après la règle d'Ampère, les courants induits auront le sens indiqué par les flèches, et on pourra les recueillir au moyen d'un collecteur ou d'un commutateur. Si le solénoïde est enroulé *dextrorsum,* c'est-à-dire comme les filets d'une vis à droite (Fig. 26), le courant se dirigera toujours dans les solénoïdes en s'éloignant des pôles; si le solénoïde est enroulé *sinistrorsum,* dans le sens des filets d'une vis à gauche, le courant se dirigera toujours dans les solénoïdes de l'axe de rotation *m n* aux pôles N et S; mais, quel que soit le mode d'enroulement des spires, la règle d'Ampère sera toujours satisfaite. L'examen de la figure montre que, en employant deux solénoïdes, enroulés dans le même sens, il faut, pour ajouter leurs effets, relier l'extrémité du solénoïde de gauche la plus éloignée du pôle Sud, à l'extrémité du solénoïde de droite la plus rapprochée du pôle Nord ; si l'on procédait autrement, les courants induits dans un solénoïde équilibreraient ceux de l'autre solénoïde, et on n'aurait aucune force électromotrice à l'extérieur. On peut aussi enrouler un des solénoïdes *dextrorsum*, et l'autre *sinistrorsum*, et relier entre eux les fils les plus rapprochés de l'axe ; le résultat sera exactement le même que celui obtenu en procédant comme il est indiqué figure 27.

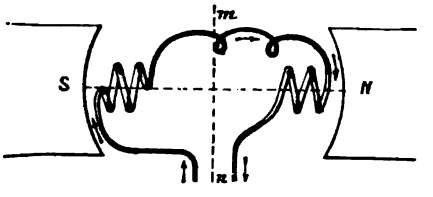


Fig. 26. — Principe des machines à solénoïdes.

Machine à électro-aimant. — C'est sur le principe que nous venons d'indiquer qu'ont été réalisées les premières machines

d'induction ; seulement, au lieu de solénoïdes produisant peu de courant, les constructeurs employèrent des électro-aimants qui en développent davantage. Les organes essentiels de ces machines primitives étaient un aimant en acier et un électro-aimant, ayant leurs pôles en opposition, et aussi rapprochés que possible (Fig. 27). L'électro-aimant tourne autour de l'axe de l'aimant, qui est fixé d'une manière rigide au bâti de la machine.

Si le sens du mouvement de l'électro-aimant est celui des aiguilles d'une montre (pour l'observateur placé en N), c'est-à-dire si la spire A s'abaisse en passant devant le pôle Nord, et que nous prenions pour point de départ le moment même où les pôles sont vis-à-vis les uns des autres, nous remarquerons que, pendant le premier quart de révolution, l'aimantation des noyaux diminuant, il se produit un courant d'un certain sens dans la bobine A, et un courant de sens inverse dans la bobine B ; pendant le deuxième quart de révolution, l'aimantation des noyaux allant en augmentant, les courants devraient changer de sens ; mais, comme, au même moment, la polarité change dans les bobines, les courants seront de même sens pendant le premier et le deuxième quart de révolution. Quand la bobine A se trouve en face du pôle S, et la bobine B en face du pôle N, les courants changent de sens et conservent ce nouveau sens pendant toute la seconde demi-révolution.

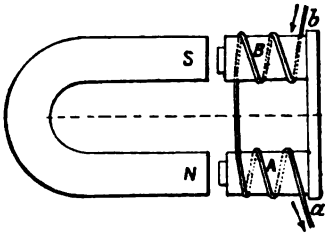


Fig. 27. — Principe des machines à électro-aimant.

Les courants dus à l'induction directe des pôles N et S n'en existent pas moins ; mais, si l'on veut bien considérer la façon dont les hélices se présentent dans le champ magnétique, et le faible nombre de lignes de force qu'elles coupent, on comprendra que ces courants sont extrêmement faibles, eu égard à ceux qui sont produits par les changements de polarité des noyaux A et B.

Il y a donc une différence essentielle entre l'emploi des solénoïdes, des conducteurs simples, des anneaux ou des électro-aimants pour l'obtention de courants induits. Avec les solénoïdes

et les conducteurs rectilignes, qui ne sont soumis qu'à l'influence du champ magnétique de l'inducteur, le changement de sens des courants s'opère sur la ligne axiale perpendiculaire aux pôles. Avec les anneaux en fer, les fils qui traversent les lignes de force sont soumis à un double effet d'induction: l'un, directement produit par les pôles de l'inducteur, l'autre par les changements d'état magnétique de l'anneau. Le premier effet étant très prépondérant, la ligne de partage près de laquelle on recueille les courants est également entre les pôles.

Lorsqu'on emploie des électro-aimants, les deux effets d'induction se font sentir sur les spires; mais la réaction des noyaux

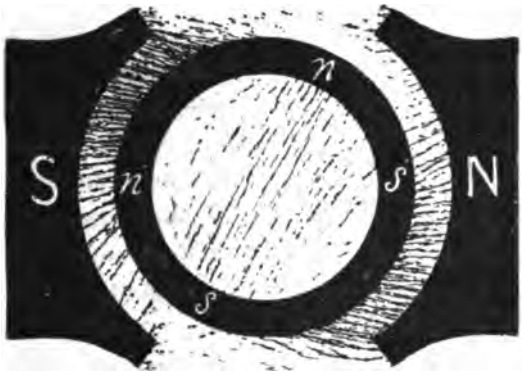


Fig. 28. — Déplacement des lignes de force.

l'emporte sur l'influence des pôles de l'inducteur, et les inversions ont lieu au moment du passage devant les pôles, parce que c'est à ce moment que se produisent l'aimantation et la désaimantation des noyaux. Dans ce dernier cas, le plan de partage et, par suite, les points de contact des frotteurs sur le commutateur viennent se confondre avec le plan *s n* passant devant les pôles.

Sans insister plus qu'il ne convient sur les modifications introduites dans le plan de partage des inversions de courants par les actions et les réactions multiples qui se produisent dans les machines à anneau, nous ajouterons que les lignes de force étant déplacées par le mouvement du fer central, comme il est facile de le voir (Fig. 28), ce n'est pas normalement à l'axe S N qu'il

faut recueillir les courants; mais bien en *s n*, perpendiculairement aux zones occupées par les lignes de force, là où les spires ne reçoivent aucune influence directe de l'inducteur.

Il en est de même avec les machines à électro-aimant : les frotteurs ont, dans chaque cas particulier, une position favorable qui diffère un peu de celle assignée par la théorie, lorsque celle-ci est limitée à l'examen des principales influences inductrices.

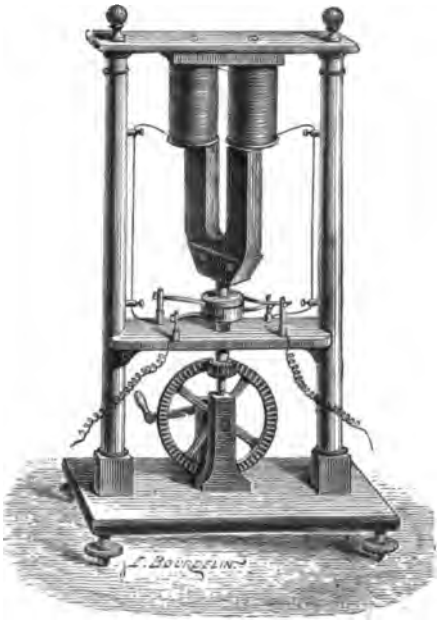


Fig. 29. — Machine de Pixii.

Machine Pixii. — La première machine, basée sur les découvertes de Faraday, fut construite en 1832 par un mécanicien parisien nommé Pixii. Dans cette machine, un aimant permanent tournait verticalement devant les pôles d'un électro-aimant; les noyaux en fer doux de ce dernier étaient ainsi aimantés et désaimantés successivement, et donnaient naissance à des courants alternatifs dans le fil de cuivre. Ces courants, redressés au moyen d'un commutateur placé à la partie inférieure de l'aimant, étaient assez intenses pour permettre de décomposer de l'eau dans un voltamètre, et de faire rougir un fil de platine. L'aimant recevait un mouvement rapide de rotation à l'aide d'une paire d'engrenages et d'une manivelle disposées entre deux tablettes, dans le soubassement de la machine.

La machine de Pixii, que nous représentons (Fig. 29) fait partie des collections du Conservatoire des arts et métiers; c'est celle dont Ampère se servait pour expliquer les phénomènes de l'induction.

Machine Clarke. — En 1833, un Américain nommé Saxton, mo-

difia la machine de Pixii en mettant l'aimant fixe horizontal, et en faisant mouvoir l'électro-aimant devant ses pôles. L'année suivante, Clarke réalisa la même machine en plaçant l'aimant verticalement, et l'électro-aimant sur le côté (Fig. 30). Bien que les perfectionnements dus à Clarke ne soient pas très importants, c'est son type de machine qui a prévalu dans les laboratoires, et

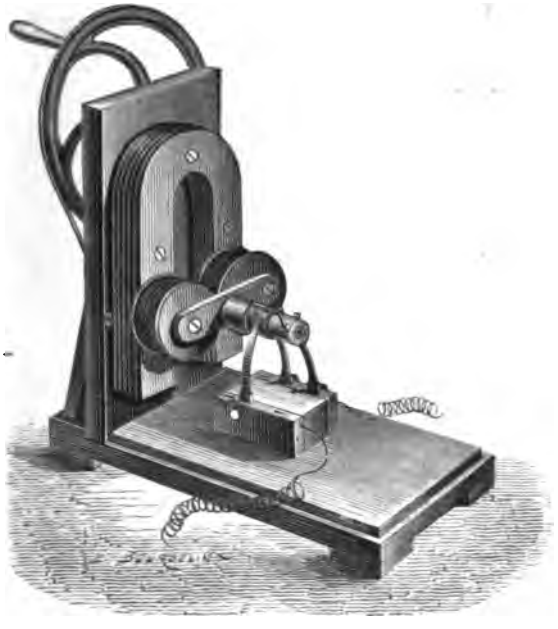


Fig. 30. — Machine de Clarke.

c'est son nom qui a longtemps servi à désigner tous les appareils similaires d'induction.

Machine Siemens. — Pendant vingt ans, la machine Clarke fut à peu près la seule en usage ; mais en 1854, MM. Siemens et Halske, de Berlin, imaginèrent l'armature à double T qui fit faire un grand pas à la production de l'électricité au moyen de générateurs mécaniques.

Pour comprendre le jeu de la machine Siemens, il suffit de se reporter à la figure 20 et de concevoir un grand nombre de

spires rectangulaires réunies, enroulées sur une âme en fer servant d'axe à la machine (Fig. 31).

Le fer central est d'abord façonné en cylindre, puis creusé

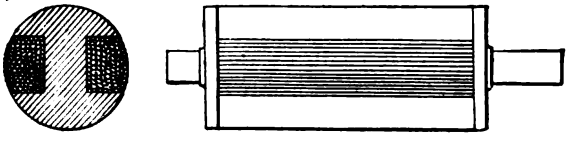


Fig. 31. — Bobine Siemens.

longitudinalement de deux grandes rainures larges et profondes. Le fil de cuivre, préalablement isolé, est enroulé dans les rainures, parallèlement à l'axe, jusqu'à ce qu'il les remplisse entièrement. L'un des bouts du fil est soudé à l'axe métallique de l'armature qui porte un demi-cylindre de commutateur, et l'autre, à un deuxième demi-cylindre placé en regard du premier et dont il est isolé électriquement.

La figure 32 représente une machine Siemens garnie de sa bobine. Les pièces polaires fixées aux extrémités de l'aimant sont alésées de manière à embrasser très étroitement la bobine en ne laissant que le jeu strictement nécessaire pour permettre sa rotation. La masse du fer central est assez grande pour que l'influence du champ magnétique de l'inducteur soit très petite par rapport à celle des pôles mêmes de la bobine, ce qui crée un plan de partage dans la direction des pôles. Les frotteurs se trouvent ainsi placés verticalement, et ils recueillent les courants près des pôles.

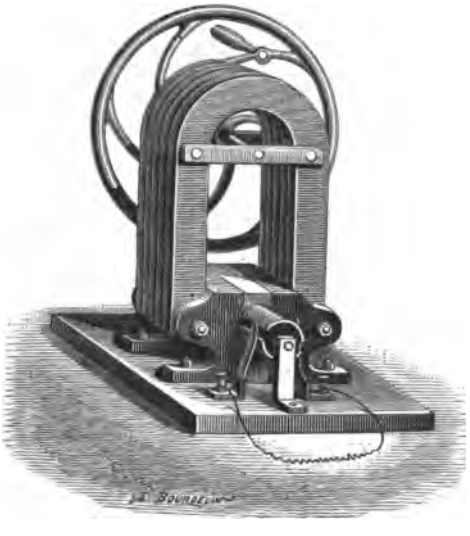


Fig. 32. — Machine de Siemens.

Machine Pacinotti. — Cette machine, qui a été décrite en 1864 dans un journal italien, est représentée fig. 33.

Son induit se composait de seize bobines partielles enroulées

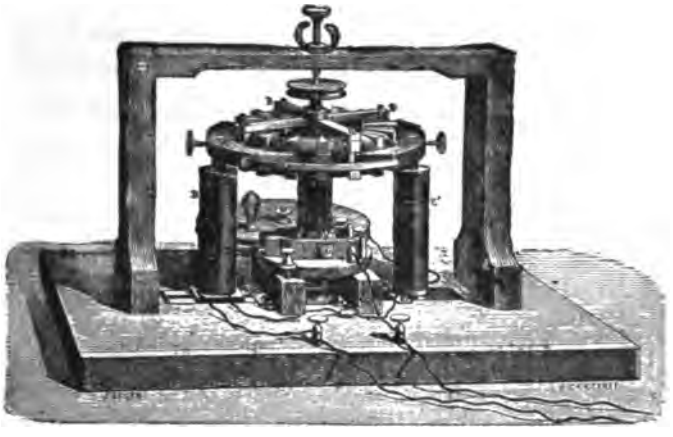


Fig. 33. — Machine de Pacinotti.

sur un anneau en fer dentelé et garni de seize coins en bois *m m* (Fig. 34).

Les extrémités des fils des bobines étaient reliées à un collecteur (Fig. 34 *bis*).

Ce collecteur consistait en un cylindre en bois C, peu élevé,

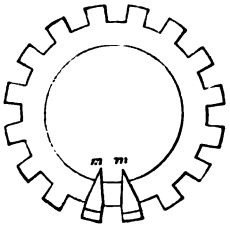


Fig. 34. — Anneau en fer Pacinotti.

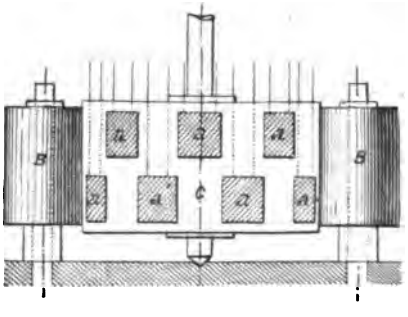


Fig. 34 *bis*. — Collecteur de la machine Pacinotti.

avec deux rangs d'entailles disposées sur la périphérie et recevant seize petites pièces en laiton *a* (huit à la partie supérieure et huit à la partie inférieure alternant avec les premières).

Deux roues métalliques BB frottant sur le collecteur servaient à recueillir les courants.

Cette petite machine est restée longtemps à l'Université de Pise et personne ne chercha à la rendre industrielle. Il a fallu que M. Gramme découvrit de nouveau le principe des induits annulaires et qu'il inventât les collecteurs à coins, les anneaux lisses en fil de fer, les balais frotteurs et les inducteurs à pôles doubles, pour tirer de l'oubli les travaux, d'ailleurs très remarquables, de M. Pacinotti.

§ II. — *Des inducteurs.*

Aimants permanents. — Dans les premières machines d'in-

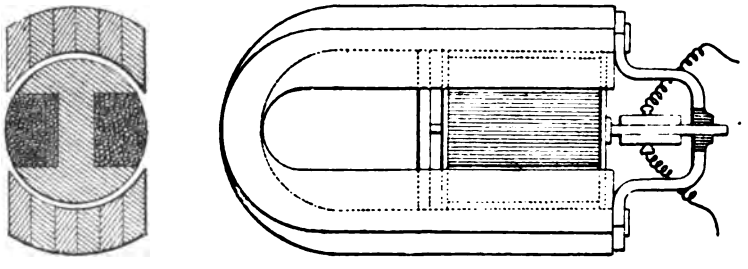


Fig. 35. — Machine d'Allen.

duction on employait exclusivement des aimants en acier pour constituer le champ magnétique dans lequel s'opérait la transformation de l'énergie dynamique en énergie électrique.

Ces aimants étaient le plus souvent composés de lames recourbées en forme de fer à cheval, trempées et aimantées séparément, puis assemblées entre elles au moyen de boulons. On obtenait l'aimantation des lames, soit en les frottant à plusieurs reprises, dans un sens convenable, avec des barreaux aimantés, soit en les introduisant dans les bobines creuses d'un solénoïde, traversé par un courant et promené le long des lames d'une extrémité à l'autre, aller et retour, pendant un certain temps.

Les meilleurs aciers employés à cet usage étaient et sont encore ceux de Suède et ceux des forges d'Allevard. En général,

plus les aimants ont un faible poids, et plus l'aimantation leur donne de force attractive proportionnellement à ce poids.

L'induit se présentait devant les pôles de l'aimant inducteur, tantôt de manière à ce que les pôles fussent en opposition directe (Fig. 29), tantôt parallèlement aux lames et sur le côté (Fig. 30), tantôt, enfin, entre les branches du fer à cheval (Fig. 35) (machine Allen).

Aimants multiples. — Pour obtenir de grands effets, les constructeurs, avant d'avoir recours aux électro-aimants, firent usage d'inducteurs volumineux, comprenant un grand nombre d'aimants, devant lesquels tournaient des séries de bobines. Comme exemple de ces appareils nous citerons la machine inventée par Nollet, et connue sous le nom de machine de l'*Alliance* représentée figure 142.

Pièces polaires rapportées. — La machine Siemens (Fig. 32) possède deux pièces de fonte fixées aux lames d'aimant, au moyen de vis, et alésées de manière à embrasser étroitement l'induit. Ces pièces polaires ont été, depuis 1854, rapportées à presque tous les aimants servant d'inducteurs; elles ont l'avantage d'augmenter considérablement le nombre des lignes de force fermées comprises entre les extrémités des lames, à l'endroit où les pôles atteignent leur maximum d'influence.

Ladd ayant observé qu'une partie des lignes de force traversait la région supérieure des aimants à lames droites, ce qui en diminuait l'effet utile, fit construire des aimants à lames courbées circulairement qui donnèrent d'assez bons résultats, surtout avec des pièces polaires rapportées.

Aimants Jamin. — Les aimants Jamin sont composés d'une série de lames minces en acier, préalablement aimantées, et pliées à la main sur plat, au lieu d'être courbées sur champ à la forge, comme cela a lieu dans les aimants ordinaires. Les lames sont placées les unes contre les autres et retenues par une armature solide, comprenant deux pièces polaires et deux traverses en bronze assurant aux pièces polaires un écartement invariable.

La figure 36 représente une dynamo ayant pour inducteur un aimant Jamin. On peut remarquer, en examinant le dessin, l'importance exceptionnelle donnée aux pièces polaires lorsqu'elles ont un double rôle à remplir : embrasser intimement l'induit, et retenir en un seul faisceau toutes les lames de l'aimant.

L'aimant Jamin, inventé en 1873, a eu un moment de vogue; mais il est, petit à petit, tombé dans l'oubli, et son usage est à peu près abandonné aujourd'hui. Les aimants ordinaires sont plus

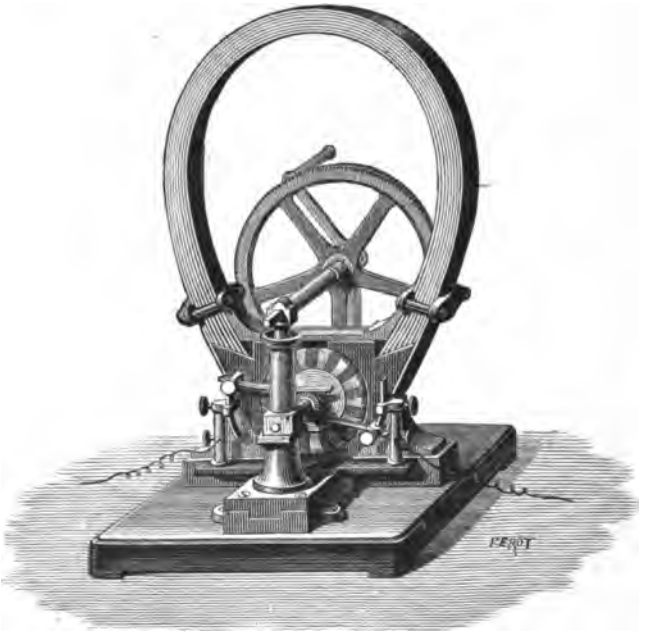


Fig. 36. — Machine à aimant Jamin.

faciles à monter dans les appareils électriques, et leur force attractive est sensiblement la même, à poids égal.

Aimants en acier comprimé. — Pour donner à l'acier la force coercitive lui permettant de conserver l'aimantation qu'il a reçue, il faut, avons-nous dit, le tremper. La trempe déforme souvent les lames, et, si on les réchauffe ensuite pour redresser le métal, l'acier perd sa force coercitive.

M. Clémandot est parvenu à faire disparaître cet inconvénient en comprimant l'acier sous une forte pression, et en le laissant

refroidir sous cette pression. Au lieu d'être instable, l'aimantation des lames ainsi traitées devient permanente. L'acier soumis à la compression et forgé ensuite est doux; il peut être limé, percé, tourné, etc., sans perdre sa force coercitive.

Electro-aimants. — Les générateurs d'électricité ayant leurs inducteurs constitués au moyen d'aimants en acier sont aujourd'hui presque entièrement abandonnés, et remplacés par des appareils à électro-aimants, dont les effets sont à la fois plus puissants, plus réguliers et plus sûrs.

Les formes données aux électro-aimants sont extrêmement variées; elles dépendent, dans certains cas, de considérations fondées sur les problèmes à résoudre, mais, le plus souvent, du désir qu'ont les constructeurs de présenter des dynamos originales, sinon au point de vue de leurs résultats, du moins en ce qui concerne leur apparence extérieure. Le courant qui traverse les fils des électro-aimants pour produire le champ magnétique est fourni généralement par la dynamo elle-même; dans certaines applications, on se sert d'une dynamo auxiliaire pour exciter les inducteurs d'une ou de plusieurs dynamos principales.

Dans la première machine Wilde, exécutée en 1866, les électro-aimants étaient excités par une machine auxiliaire à aimant (Fig. 37) placée au dessus de la première.

La dynamo complète était ainsi formée de deux appareils superposés, fonctionnant simultanément, et produisant des courants beaucoup plus intenses que tous les générateurs électriques connus à cette époque.

Auto-excitation. — Wheatstone et Varley, en Angleterre, Siemens, en Allemagne, et Gramme, en France, trouvèrent à la même époque [1], indépendamment les uns des autres, qu'on pouvait se passer de la machine excitatrice, parce qu'il restait toujours dans les électro-aimants un peu de magnétisme *rémanent* ou *résiduel*, dès que la dynamo avait fonctionné une première fois.

Le magnétisme résiduel, au moment de la mise en marche,

1. Vers la fin de 1866.

développait de faibles courants qu'on obligeait à traverser les fils des électro-aimants avant d'arriver au circuit extérieur ; ces premiers courants augmentaient l'intensité des pôles de l'inducteur et, par suite, celle de leur champ magnétique. Sous l'influence

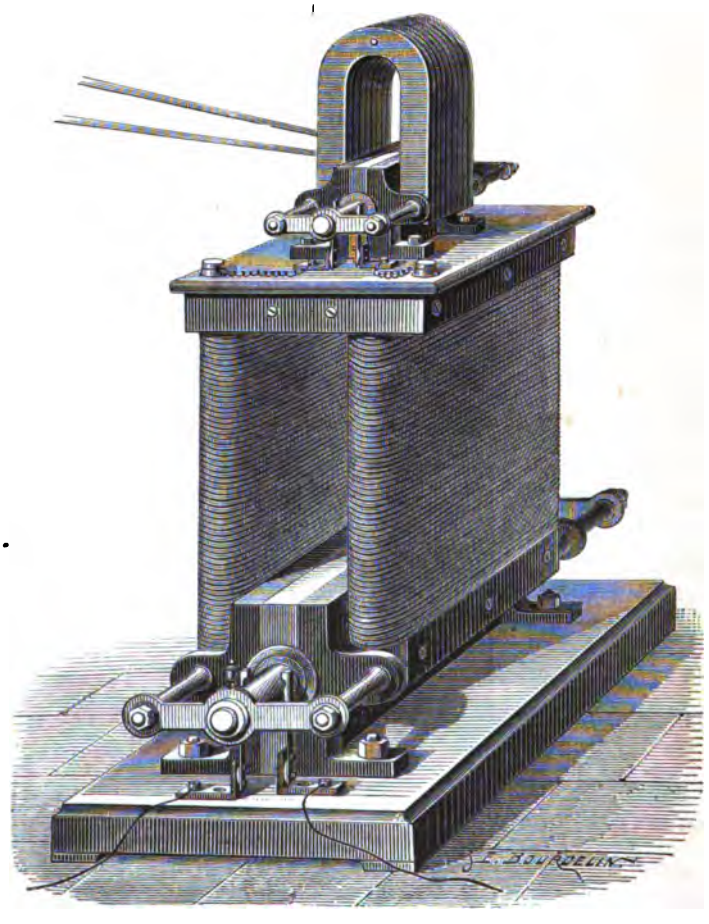


Fig. 37. — Machine de Wilde.

de cette augmentation dans l'action magnétique, les courants devenaient de plus en plus énergiques et renforçaient progressivement les pôles. Ceux-ci atteignaient, en quelques secondes, leur maximum d'intensité, et le champ magnétique, devenu normal, faisait débiter à l'induit tout le courant dont la dynamo était capable.

Est-il rien de plus merveilleux que cette succession ininterrompue de phénomènes, que ces réactions du magnétisme sur le courant électrique, et réciproquement, que cette transformation de deux formes essentiellement différentes de l'énergie, sans autre intermédiaire que des pièces métalliques tournant devant d'autres pièces métalliques?

Pour qu'une semblable machine puisse fonctionner, il faut naturellement admettre qu'elle a déjà fonctionné ou que ses électro-aimants ont reçu une première excitation, soit à l'aide d'une pile, soit à l'aide d'une autre dynamo; c'est ce qui a lieu ordinairement. Cependant, il suffit souvent de toucher les électro-aimants avec un aimant permanent, ou de les placer dans une position parallèle à l'axe magnétique de la terre, pour provoquer un magnétisme initial et permettre au courant d'atteindre son régime normal. Beaucoup de dynamos s'amorcent d'elles-mêmes, sans qu'on les ait orientées avant de les mettre en marche : la composante du champ magnétique terrestre qui agit sur elles est presque toujours suffisante pour magnétiser tant soit peu l'inducteur.

Il y a plusieurs moyens d'exciter les inducteurs par le courant de la dynamo; les plus usités sont désignés sous les noms de : *excitation en série*, *excitation en dérivation*, et *excitation mixte ou compound*.

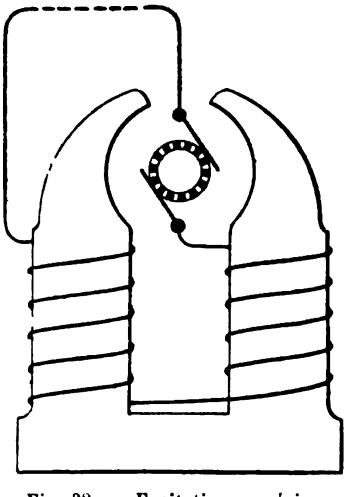


Fig. 38. — Excitation en série.

Excitation en série. — L'excitation en série consiste à intercaler les spires de l'inducteur dans le circuit principal (Fig. 38). On a ainsi un circuit unique, comprenant l'induit, l'inducteur et les appareils utilisant le courant.

Le nombre des spires à enrouler sur les noyaux et le diamètre du fil à employer sont déterminés d'après les considérations suivantes :

Le champ magnétique a une valeur d'autant plus grande, en dehors de la pureté du métal de l'inducteur, que le fil enroulé sur les noyaux de l'inducteur est plus long, et qu'il est traversé par un courant plus intense.

L'intensité du courant, dans le cas de l'excitation en série, est connue, puisque c'est celle qui est exigée par le travail extérieur que l'on a en vue; la longueur du fil est variable pour chaque disposition d'ensemble de la dynamo; sa détermination constitue un travail expérimental, fait préalablement par le constructeur lorsqu'il veut adopter une forme d'inducteur. On peut donc considérer ces deux éléments, intensité du courant et longueur du fil, comme donnés, et se borner à calculer le diamètre de ce fil pour chaque cas particulier.

La force électromotrice d'induction est proportionnelle à la longueur du fil de l'induit qui passe devant les pôles par unité de temps; cette force électromotrice diminue un peu en traversant les fils de l'induit, de sorte que la différence de potentiel existant entre les deux frotteurs qui recueillent le courant est plus faible que la dite force électromotrice. Le passage du courant à travers l'inducteur augmente la chute du potentiel, et constitue une perte de puissance, d'autant plus petite que la résistance des fils des électro-aimants est elle-même plus petite. La section du fil doit donc être aussi grande que possible, si l'on considère uniquement le meilleur rendement de transformation de la puissance mécanique en puissance électrique utilisable; mais, d'autre part, le prix du fil croît avec sa section, et, comme ce prix représente une fraction notable du coût total de construction des dynamos, il est utile de le faire entrer en ligne de compte. Dans la pratique, pour calculer la section du fil, on considère surtout l'élévation de la température produite par le passage du courant, et, suivant que l'épaisseur des spires permet un refroidissement plus ou moins actif, on fait passer de quatre à deux ampères par millimètre carré dans le fil de l'inducteur.

Dans les machines à anneau cylindrique en fer, on obtient un champ magnétique d'autant plus puissant, avec la même longueur de fil sur l'inducteur, que les surfaces polaires et le noyau induit sont plus rapprochés, en d'autres termes, que l'*entrefer* est plus petit.

Changement de polarité dans les dynamos excitées en série. — Il peut arriver, lorsque l'appareil utilisant le courant extérieur développe une force électromotrice, que celle-ci devienne supérieure à celle de la dynamo. Ce phénomène, qui est assez fréquent dans les opérations d'électrolyse et dans la charge des accumulateurs électriques, amène un changement de sens du courant et de la polarité dans les électro-aimants. Le pôle Nord prend la place du pôle Sud, et réciproquement, de telle sorte que, même après la disparition de la cause qui a produit le changement, le courant continue à aller dans un sens contraire au sens primitif, ce qui, dans certains cas, peut avoir de graves inconvénients.

Pour parer à ces inconvénients, M. Gramme a imaginé un appareil qui rompt le circuit avant que le changement de polarité ait pu s'effectuer; mais le meilleur moyen d'éviter des inversions dans le sens du courant consiste à mettre l'inducteur en dérivation, au lieu de l'intercaler dans le circuit principal.

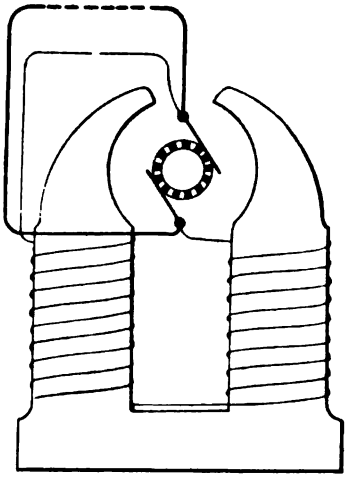


Fig. 39. — Excitation en dérivation.

Excitation en dérivation. — On obtient l'excitation des inducteurs en dérivation en enroulant un fil très long et de faible section autour des noyaux de l'électro-aimant, et en rattachant les extrémités du fil aux frotteurs (Fig. 39).

Sur les frotteurs se trouvent ainsi branchés deux circuits : le premier, comprenant l'induit, le conducteur et les appareils utilisant le courant; le second, les deux branches de l'inducteur.

La longueur et la section du fil dérivé sont fournies par l'expérience. On sait, par exemple, qu'en employant un électro-aimant d'une forme déterminée, il faut dépenser le vingtième du courant total pour obtenir un champ magnétique donné; on prend un fil vingt fois plus long et d'une section vingt fois plus petite que celui employé dans l'excitation en série, et on arrive à un

résultat à peu près identique, c'est-à-dire à la même quantité d'énergie dépensée et au même poids de fil employé.

Avec cette disposition, les deux circuits étant indépendants, le renversement accidentel du courant principal ne peut pas amener le changement de polarité dans les noyaux de l'électro-aimant, et, par suite, la production par la dynamo d'un courant ayant un sens anormal. Il suit de là que l'excitation en dérivation est préférable à l'excitation en série, chaque fois qu'il peut se produire, dans le circuit, une force électromotrice inverse capable de renverser le sens du courant extérieur.

Influence du mode d'excitation sur le débit. — § I. — *Excitation en série.* — Soit E la force électromotrice développée par une dynamo excitée en série, R la résistance extérieure du circuit, r la résistance intérieure de la dynamo, et I l'intensité du courant.

Nous aurons, d'après la loi d'Ohm :

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

Si R vient à augmenter pour une cause quelconque, I deviendra plus petit. Le courant envoyé dans l'inducteur s'affaiblissant, le champ magnétique diminuera, et la force électromotrice E deviendra moindre, ce qui sera une nouvelle cause de décroissance pour I. Au contraire, quand R diminue, la force électromotrice et l'intensité du courant augmentent. La résistance intérieure, dans les deux cas, reste invariable, et, comme elle généralement beaucoup plus faible que la résistance extérieure, elle influe peu sur les conséquences des changements de celle-ci.

§ II. — *Excitation en dérivation.* — Quand les électro-aimants sont excités par un circuit dérivé, et que la résistance extérieure R augmente, l'intensité du courant qui traverse la dérivation augmente; le champ magnétique devient plus puissant, et la force électromotrice E croît relativement plus que R, de sorte que l'intensité I augmente. Les trois termes I, E et R croissent donc en même temps, r seul reste naturellement invariable ;

mais, comme il est beaucoup plus élevé, par rapport à R, que dans le cas précédent, son influence dans le dénominateur est principalement de réduire la proportionnalité de l'augmentation de R par rapport à celle de E du numérateur.

Excitation mixte ou compound. — Les considérations qui précèdent montrent que les deux modes d'excitation en série et en dérivation jouissent de propriétés différentes ; mais qu'ils ne permettent, ni l'un ni l'autre, d'obtenir une différence de potentiel constante aux bornes, par exemple, quand la résistance extérieure éprouve des variations. Les variations de différence de potentiel étant de sens opposés pour les deux modes d'excitation, on comprend qu'il suffit de combiner les deux systèmes pour annuler, ou tout au moins pour réduire dans une grande mesure, ces variations. C'est ce qu'on fait dans les dynamos dites compound (Fig. 40).

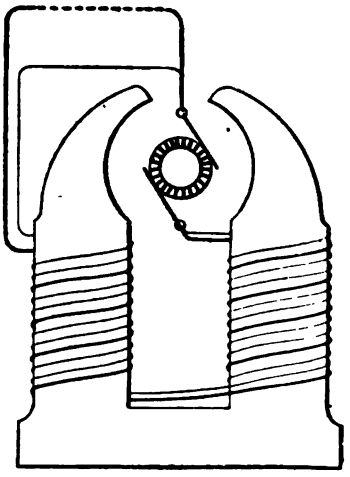


Fig. 40. — Excitation compound.

Les noyaux des électro-aimants sont enroulés d'abord d'un gros fil qui reçoit le courant total, puis d'un fil fin, ne laissant passer qu'une faible partie de ce courant. L'effet de ces deux enroulements est de maintenir la différence de potentiel constante aux bornes, quand la résistance varie.

Le gros fil peut être enroulé directement sur les noyaux, et le fil fin par dessus le premier; on peut également commencer par enrouler le fil fin et terminer par le fil gros, ou bien encore, placer le fil fin à une extrémité du noyau, et le fil gros à l'autre extrémité. Chaque constructeur choisit le système qui convient le mieux à son genre de fabrication et détermine par expérience les quantités proportionnelles des fils, gros et fin, qui procurent le moins de variations dans la différence de potentiel aux bornes.

L'enroulement compound n'est pas sans inconvénients ; il force à donner rigoureusement à l'induit une vitesse déterminée

d'avance, et à conserver cette vitesse sans aucun changement pendant la marche pour maintenir une différence de potentiel constante aux bornes de la machine; son emploi occasionne une dépense un peu plus grande d'énergie pour l'excitation; son prix d'établissement est plus élevé que celui des autres modes d'excitation; avec une vitesse irrégulière ou différente de celle déterminée pour le régime indiqué, il ne remplit plus son but et donne lieu à des étincelles qui usent rapidement les collecteurs, etc., etc. Malgré ces inconvénients, comme, dans les applications d'éclairage par incandescence, il préserve les lampes d'une destruction hâtive, qu'il permet d'éteindre un nombre quelconque de lampes sans que les autres en soient influencées, son emploi a pris récemment une grande extension.

Il existe d'autres moyens que l'excitation compound pour rendre la différence de potentiel invariable, et même pour rendre l'intensité du courant constante, quelles que soient les variations de la résistance extérieure ; mais leur description nous entraînerait trop loin et ne serait pas à sa place dans ce chapitre. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce sujet quand nous décrirons les divers systèmes de dynamos employés dans l'industrie.

Métal des inducteurs. — Le métal des noyaux, et, en général, de toutes les parties métalliques de l'inducteur a une grande influence sur la puissance de la dynamo; ce métal est d'ailleurs toujours du fer ou de la fonte de fer ordinaire, très rarement de l'acier ou de la fonte malléable.

Le fer doux le plus pur possible a l'avantage de donner au champ magnétique une intensité beaucoup plus grande pour une longueur de fil et une intensité de courant moindres. La fonte étant moins magnétique a besoin d'être plus volumineuse, à champ magnétique égal, et elle exige 30 à 50 pour 100 de fil de cuivre en plus sur les noyaux.

Certaines considérations de poids, de rendement et de prix de revient peuvent faire donner la préférence à l'un ou l'autre métal. Quelques constructeurs combinent la fonte et le fer, en faisant les noyaux en fer, la culasse et les épanouissements polaires en fonte. M. Gramme fait généralement ses inducteurs

en fonte, et M. Edison construit ses noyaux en fer et le reste en fonte.

Si la fonte employée dans les noyaux a l'inconvénient d'exiger plus de fil et de courant pour l'excitation, elle a, par contre, l'avantage de prendre son état normal de magnétisme plus facilement et de le conserver plus constant sous l'influence de légères variations dans la vitesse de l'induit.

Forme des électro-aimants. — Il est impossible de décrire toutes les formes données aux inducteurs dans les dynamos industrielles; certains constructeurs ont étudié et mis en vente jusqu'à vingt types différents ; le goût des nations a eu son influence sur l'aspect extérieur des machines; les dimensions elles-mêmes, qui, pour satisfaire des besoins de plus en plus étendus, se sont considérablement accrues, ont imposé des changements importants dans la disposition des noyaux et des bâtis. Il existe aujourd'hui plusieurs centaines de dynamos ayant des formes sinon originales, du moins assez différentes entre elles pour ne point être confondues à première vue.

Malgré cette immense variété de combinaisons dans les formes, et cette tendance des nouveaux venus parmi les industriels électriciens à donner à leurs dynamos un aspect extérieur qui leur imprime une sorte de marque de fabrique, la plupart des inducteurs peuvent être ramenés à trois groupes seulement :

1° Les inducteurs à pôles simples (Fig. 38, 39 et 40) ;

2° Les inducteurs à pôles doubles (Fig. 41), qui sont composés de deux inducteurs à pôles simples opposés (pôles de même nom réunis par des pièces polaires uniques) ; dans cette disposition, les enroulements sont faits de manière à créer des pôles différents dans les deux pièces polaires enveloppant l'induit ;

3° Les inducteurs multipolaires, c'est-à-dire ceux qui renferment plusieurs paires de pôles et n'influencent qu'un seul induit (Fig. 43).

En 1881, M. Gramme exposait au Palais de l'Industrie une série de dynamos dont nous représentons ci-contre les principales formes.

La figure 41 montre l'inducteur de la machine *type normal*, étudiée en 1872 et construite depuis à plus de 15000 exemplaires. Sa forme est encore aujourd'hui adoptée par plusieurs constructeurs français et étrangers.

Cet inducteur était composé de 8 pièces, savoir: deux flasques servant en même temps de bâti à la machine et de culasses aux électro-aimants, deux bagues en fonte, deux noyaux d'électro-aimants et deux pièces polaires au milieu des noyaux. Les noyaux sont en fer et toutes les autres pièces en fonte.

Comme on le voit, l'arbre de l'induit était placé dans le plan des axes des électro-aimants, contrairement à la disposition adoptée dans les machines primitives Siemens et Wilde.

Les noyaux d'électro-aimants étaient cylindriques dans la dynamo du type normal ; mais dans les appareils puissants M. Gramme faisait ces noyaux plats et leur donnait une grande largeur.

La figure 42 représente l'inducteur d'une dynamo à 10 lumières que M. Gramme avait combinée pour la marine, mais qui n'a reçu qu'un très petit nombre d'applications par suite d'études mieux appropriées à cette destination et réalisées sur le type de la machine à 5 lumières que nous représenterons plus loin, lorsque nous décrirons les appareils industriels.

La figure 43 représente l'inducteur de la dynamo à 4 pôles, une des plus rustiques et des plus puissantes qui aient été exécutées avant 1881.

L'inducteur est constitué par un cadre en fonte servant d'enveloppe à tout l'appareil et le préservant des chocs et autres accidents que peuvent déterminer les engins placés dans les mines et les chantiers de construction. A l'intérieur de ce cadre octogonal, se trouvent fixés huit noyaux d'électro-aimants en fer, à section rectangulaire, portant, par paire, une pièce polaire embrassant presque le quart de la bobine induite. Les pièces polaires sont alternativement de noms contraires; il y a donc deux pôles Nord en regard et deux pôles Sud également en regard.

La plus grosse de ces dynamos, figurant à l'Exposition de 1881, absorbait une puissance de 40 chevaux-vapeur ; son volume et son poids étaient très inférieurs aux volumes et aux

poids des dynamos de même puissance exposées par les autres constructeurs.

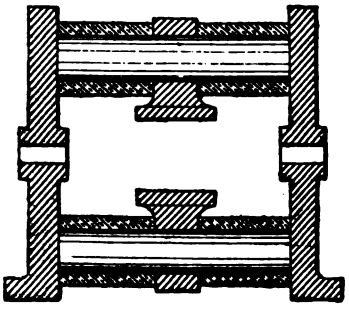


Fig. 41

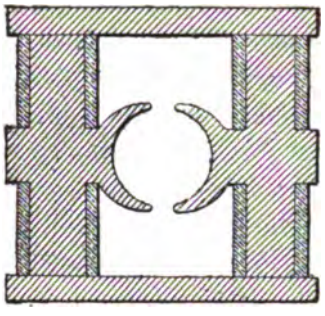


Fig. 42

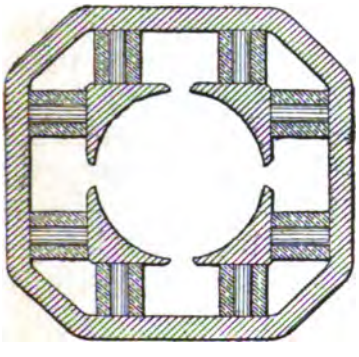


Fig. 43

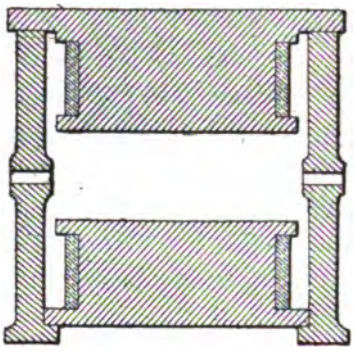


Fig. 44

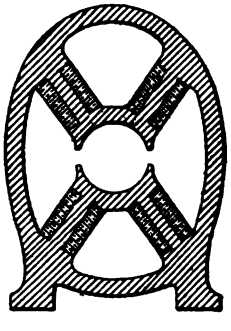


Fig. 45

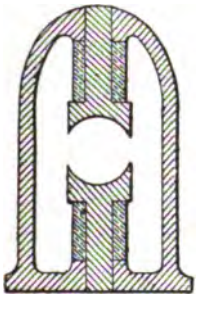


Fig. 46

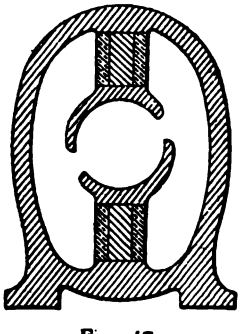


Fig. 47

Machines Gramme exposées en 1881.

La figure 44 montre un type vertical d'inducteurs d'une

construction économique. L'appareil, exécuté entièrement en fonte, produisait un champ magnétique puissant pour une faible quantité de fil enroulé sur les noyaux. Le travail d'ajustage consistait simplement dans la confection de deux joints et dans l'alésage des pièces polaires et des coussinets de l'arbre. C'est cependant en vue de diminuer ce travail, qu'il trouvait encore d'un prix trop élevé, que M. Gramme a combiné les nouveaux inducteurs dont nous parlerons bientôt.

Le type, (Fig. 45), est caractérisé par sa forme ovale et la simplicité de sa construction mécanique. Le bâti, les noyaux d'électro-aimants et les pièces polaires sont fondus d'une seule pièce; les fils sont enroulés sur les noyaux d'électro-aimants au moyen d'un outillage spécial; l'arbre est porté par deux traverses vissées sur le bâti.

La figure 46 montre un inducteur tout en fonte, adopté par M. Gramme en 1873 pour ses petites machines. Au lieu de 8 pièces, cet inducteur n'en comporte plus que 4, savoir : 2 noyaux et 2 culasses servant de bâti. C'est le premier inducteur n'ayant pas de pièces polaires rapportées et dans la construction duquel il n'entrait pas de fer. Il a surtout été appliqué aux petits éclairages à arc, aux décompositions chimiques et à la télégraphie.

L'électro-aimant, (Fig. 47), est caractérisé par les développements inégaux des pièces polaires. Cette disposition, qui permettait de placer les deux frotteurs verticalement, en face l'un de l'autre, sur le diamètre horizontal de l'induit, a été récemment reprise par M. Gravier, de Varsovie, qui a cru y trouver une solution économique, eu égard au poids total de fil employé dans l'inducteur et l'induit.

La dynamo Gramme exposée en 1881 avait son inducteur composé de 4 pièces comprenant une des traverses servant de palier à l'arbre, la seconde traverse étant venue de fonte avec le bâti.

Depuis quelques années, M. Gramme, toujours préoccupé de doter l'industrie d'une machine vraiment commerciale, a abandonné successivement toutes les formes d'inducteurs dont nous n'avons énuméré qu'une très faible partie, pour se consacrer à

l'étude d'une dynamo ayant le bâti, les noyaux d'électro-aimants, les pièces polaires et un des paliers de l'arbre fondus d'une seule pièce. Dans cette dynamo, un seul palier est rapporté et le travail d'ajustage consiste uniquement à fixer ce palier et à aléser les pièces polaires.

Les figures 48, 49 et 50 montrent les trois dispositions de cet inducteur sans assemblage, déjà réalisées à un très grand nombre d'exemplaires.

Les dernières machines étudiées par M. Gramme et soumises à notre examen ont sensiblement la même apparence extérieure

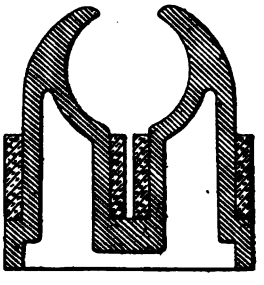


Fig. 48.

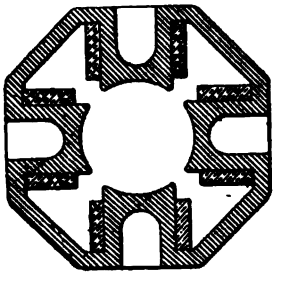


Fig. 49.

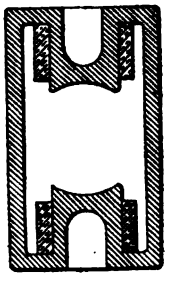


Fig. 50.

Machines Gramme (modèles de 1884).

que les précédentes; seulement, les âmes de leurs inducteurs sont constituées au moyen de pièces en fer forgées au pilon ou découpées à l'emporte-pièce, autour desquelles sont coulés les bâtis et un des supports d'arbre. Ces dynamos ont ainsi leur inducteur d'une seule et même pièce, sans autre ajustage que celui du deuxième palier et l'alésage des pièces polaires; elles possèdent l'avantage d'avoir un champ magnétique très puissant, obtenu très économiquement.

Parmi les formes extrêmement nombreuses d'électro-aimants employées depuis quelques années, nous citerons celles des dynamos de MM. Thomson et Houston, Edison, Goolden et Trotter, Mather et Platt, Kapp, Jurgensen et Siemens.

Ces formes sont représentées par les figures 51 à 57.

L'examen des figures fera immédiatement comprendre les avantages et les inconvénients de chaque type; il est donc inu-

tile de les décrire. Nous dirons seulement quelques mots des

Fig. 51
GOOLDEN-TROTTER

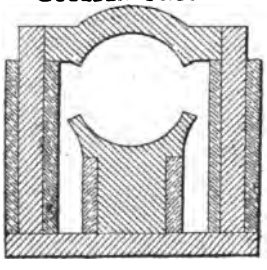


Fig. 52
JURGENSEN

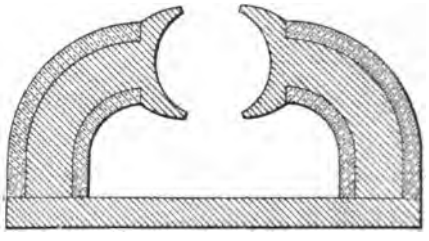


Fig. 53
KAPP

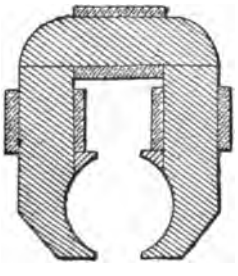


Fig. 54
THOMSON-HOUSTON

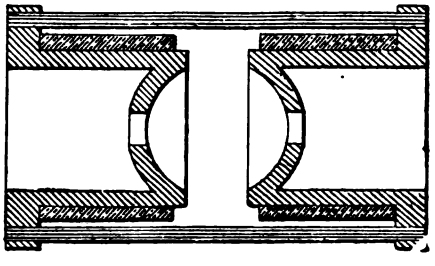


Fig. 55
EDISON-HOPKINSON

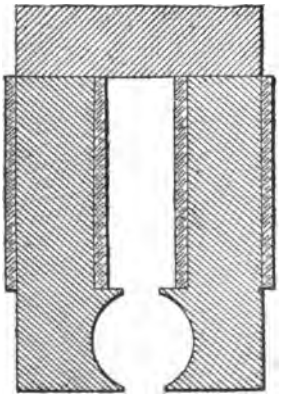


Fig. 56
MATHER-PLATT

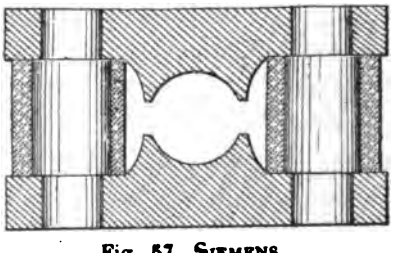


Fig 57. SIEMENS

Inducteurs de machines diverses.

dispositions adoptées par MM. Thomson et Houston et Goolden et Trotter, parce qu'elles sont bien comprises.

MM. Thomson et Houston, dont les travaux sont très connus et très appréciés aux États-Unis, ont combiné une dynamo à induit sphérique et à inducteur cylindrique (Fig. 54). Cet inducteur se compose de deux cylindres terminés par des surfaces sphériques creuses embrassant presque entièrement l'induit et garnis de fil sur tout leur pourtour extérieur. Ces deux cylindres sont réunis entre eux, pour former un électro-aimant unique, par une série de traverses longitudinales en fer entretoisant solidement tout l'appareil.

MM. Goolden et Trotter ont constitué un des pôles de leur inducteur (Fig. 51) au moyen de deux noyaux à section rectangulaire, placés à l'extérieur, et l'autre, par un noyau unique, également rectangulaire, mais d'une section double des précédentes, placé à l'intérieur de l'appareil.

Cette disposition n'a pas le mérite de la simplicité ni de l'économie ; mais elle donne à la dynamo un petit volume et permet d'utiliser convenablement le champ magnétique.

CHAPITRE V

ÉLECTROMÉTRIE

Instruments de mesures. — Ainsi que son nom l'indique, *l'électrométrie* a pour objet la mesure des grandeurs électriques. Elle est basée sur un petit nombre de principes scientifiques et réalisée au moyen d'instruments spéciaux extrêmement nombreux.

Les instruments sont de deux sortes : les uns, destinés aux recherches des savants, sont souvent très délicats, très compliqués, et exigent des soins minutieux aussi bien dans le service que dans l'entretien ; les autres, construits en vue d'applications courantes, sont simples, rustiques et peu sujets à des dérangements. Les premiers fournissent des indications précises, propres à déterminer des coefficients, à établir de nouvelles lois et à étalonner les derniers, dont les indications moins rigoureuses sont cependant suffisamment exactes pour les installations industrielles.

Nous ne nous occuperons ici que des appareils employés dans les ateliers de construction et dans des éclairages électriques.

Les grandeurs à mesurer étant l'intensité, la force électromotrice, la différence de potentiel, la résistance et la quantité, nous examinerons successivement les instruments spéciaux à ces mesures, en suivant l'ordre que nous venons d'indiquer.

Galvanomètres. — Les galvanomètres, employés principalement pour indiquer la présence d'un courant dans un conducteur, sont basés sur l'expérience d'Œrstedt ainsi formulée par Arago : *Un courant électrique tend toujours à faire dévier une aiguille aimantée de manière à la mettre en croix avec lui, en portant son*

pôle nord à la gauche du courant. (Nous avons dit précédemment que la droite ou la gauche d'un courant s'entendait de la droite ou de la gauche d'un observateur en supposant le courant entrant par les pieds et sortant par la tête de cet observateur couché le long du fil conducteur et regardant l'aiguille aimantée).

Au lieu d'un fil rectiligne unique, si l'on prend un conducteur disposé en rectangle et enveloppant presque entièrement l'aiguille, l'action du courant se trouve augmentée et sa présence se révèle à une plus grande distance verticale du galvanomètre. En enroulant un fil, isolé, plusieurs fois dans un même sens, sur un cadre rectangulaire, on obtient un instrument très sensible, car les différents tours de fil exercent des actions concordantes dont la résultante produit la déviation de l'aiguille. Ce galvanomètre (Fig. 58) est généralement appelé *multiplicateur de Schweigger,* du nom de son inventeur.

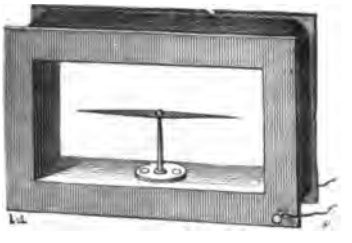


Fig. 58. — Multiplicateur Schweigger.

Avec cet appareil, les angles de déviation de l'aiguille ne sont pas proportionnels à l'intensité du courant, car les positions relatives de l'aiguille et du cadre galvanométrique varient à chaque instant; toutefois, lorsque les angles ne dépassent pas 12 degrés et que l'aiguille est très courte relativement aux dimensions du multiplicateur, on peut admettre que la proportionnalité existe entre les angles et les intensités. Le mieux est, d'ailleurs, d'établir une graduation à l'aide d'un instrument plus exact, tel que la boussole des sinus ou celle des tangentes.

Boussole des tangentes. — Cet appareil (Fig. 59) se compose d'un anneau métallique vertical, à jante creuse, dans laquelle s'enroule le multiplicateur. Au centre de cet anneau est suspendue une petite aiguille aimantée. L'anneau est orienté dans le plan du méridien magnétique, l'aiguille se trouve dans le même plan, et cette position est indiquée par un zéro sur un plateau horizontal gradué en degrés.

Si un courant vient à circuler dans le fil, l'aiguille est déviée

et s'arrête à un certain point en faisant avec sa position d'origine un angle a. En admettant que l'anneau soit assez grand et l'aiguille assez petite pour que la longueur de celle-ci soit négligeable par rapport aux dimensions du cadre, et en appelant h la composante horizontale de la force due à l'action terrestre H, et F, la force développée par le courant, on a $F = h \operatorname{tg} a$, ce qui montre

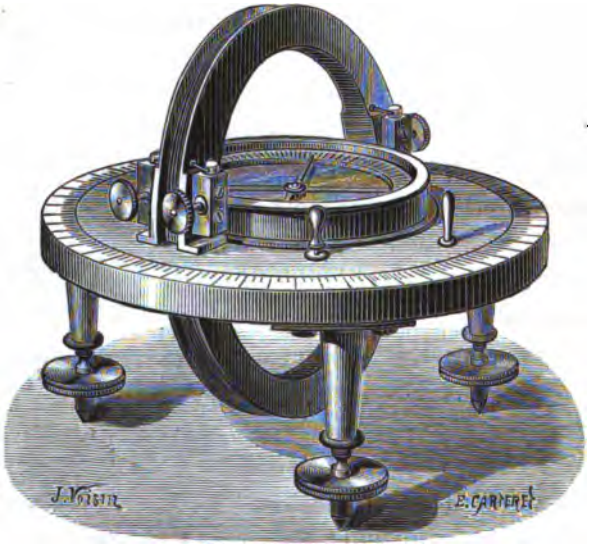


Fig. 59. — Boussole des tangentes.

que la force qui mesure le courant est proportionnelle à la tangente de l'angle de déviation.

L'intensité du courant I passant dans un cadre de rayon r est proportionnelle à la composante horizontale h de la force H et au rayon r, et l'on a, en supposant n tours de fil sur l'anneau :

$$I = h \operatorname{tg} a \frac{r}{2\pi n}, \quad \text{d'où} \quad I = K \operatorname{tg} a,$$

K étant une constante à déterminer une fois pour toutes.

Boussole des sinus. — La boussole des sinus ne diffère de la boussole des tangentes que par la dimension de l'aiguille aimantée

qui est beaucoup plus grande dans la boussole des sinus. La manœuvre est également un peu modifiée.

L'anneau est orienté comme précédemment et le courant envoyé dans les fils; l'aiguille prend une certaine position. Au lieu de lire l'angle de déviation sur le plateau horizontal, on déplace l'anneau autour de son pivot vertical jusqu'à ce que l'aiguille et l'anneau soient dans un même plan. Le sinus de l'angle b décrit par l'anneau est proportionnel à l'intensité du courant et l'on obtient :

$$I = \frac{hr}{2\pi n} \times \sin b; \qquad \text{d'où} \quad I = K \sin b.$$

Galvanomètre astatique. — Pour soustraire en partie l'aiguille à l'action de la terre, Nobili a suspendu, dans un cadre multiplicateur, deux aiguilles aimantées solidaires l'une de l'autre, en les disposant de telle sorte que leurs pôles contraires se trouvent superposés (Fig. 60). Si les aiguilles étaient identiques comme grandeur et comme degré d'aimantation, l'action terrestre serait complètement neutralisée ; mais il suffit de la plus légère inégalité entre les aiguilles pour que l'influence du magnétisme terrestre se fasse sentir ; seulement son influence est considérablement diminuée.

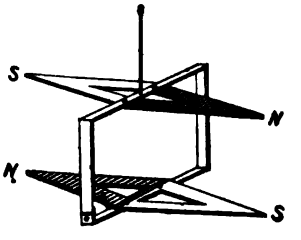


Fig. 60. — Aiguilles astatiques.

D'autre part, l'action du cadre sur la double aiguille est beaucoup plus forte que celle qu'il exercerait sur une simple aiguille. Pour ces deux raisons, la combinaison de Nobili est excellente.

En pratique, l'appareil se présente souvent sous la forme d'une potence fixée sur un socle à trois pieds.

Le système des aiguilles est suspendu à un fil de cocon de ver à soie et renfermé sous une cloche de verre cylindrique.

Galvanomètre à réflexion de William Thomson. — Les déviations des galvanomètres astatiques ordinaires sont très difficiles à observer. Ce grave inconvénient a été complètement supprimé

dans l'appareil imaginé par sir William Thomson et connu sous le nom de *galvanomètre à miroir* ou *galvanomètre à réflexion*.

Cet appareil se compose de deux cadres circulaires verticaux superposés. Au centre de chacun de ces cadres se trouve un système de 3 ou 4 petites aiguilles disposées astatiquement et suspendu par un même fil de cocon. L'un des systèmes est fixé au dos d'une petite plaque très légère de métal formant miroir. Un aimant courbe glissant sur une tige verticale et réglable à la main crée un méridien artificiel.

La sensibilité dépend de la position de cet aimant; on peut, grâce à lui, rendre l'appareil absolument astatique ou conserver une légère action directrice qui ramène au zéro.

On fait tomber sur le petit miroir un rayon lumineux qui va se réfléchir sur une échelle divisée placée à un mètre environ du galvanomètre. L'image se déplace suivant la déviation du miroir et indique l'intensité du courant qui traverse l'appareil. Les angles décrits étant toujours très petits, les arcs et les tangentes peuvent être considérés comme identiques.

Une lampe est placée devant une fente étroite ménagée au dessous de l'échelle et une lentille bi-convexe fait converger sur le miroir le faisceau lumineux qui traverse cette fente.

Cet appareil ne donne de bons résultats qu'à la condition d'être placé à l'abri de toute trépidation, sur une table de pierre ou sur un fort bâti en bois reposant sur des rondelles en caoutchouc.

Galvanomètre à réflexion Deprez et d'Arsonval. — Cet appareil (Fig. 61) est plus maniable et moins compliqué que le précédent, bien qu'il donne des indications suffisamment rigoureuses.

L'aimant AA′ est fixe et le cadre CC′ traversé par le courant est mobile. Cette disposition fait naître des courants d'induction dont l'effet est d'arrêter les oscillations du cadre et d'amener rapidement celui-ci à sa position d'équilibre.

Dans l'intérieur du cadre se trouve un tube en fer B qui augmente l'intensité du champ magnétique.

Le cadre CC′ supporté par la potence M, est maintenu en haut et en bas par deux fils d'argent très ténus DE et HJ; ces

fils servent en outre à amener le courant et à former un couple de torsion permettant de mesurer l'action réciproque du cadre et de l'aimant.

Le courant est introduit dans l'appareil par les bornes L et K.

Les déviations produites par le courant étant très faibles, les lectures se font, comme dans l'appareil W. Thomson, au moyen

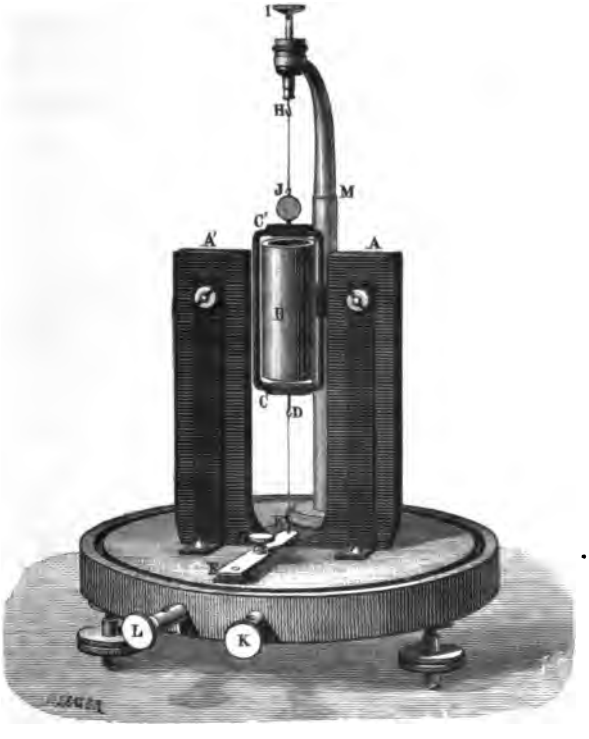


Fig. 61. — Galvanomètre apériodique Deprez et d'Arsonval.

d'un miroir J sur lequel on fait tomber un faisceau lumineux qui va se réfléchir sur une échelle graduée.

La vis supérieure I et celle agissant au milieu du levier inférieur EF servent à donner aux fils DE et HJ une tension convenable.

Shunt. — Au lieu d'envoyer tout le courant à mesurer dans les galvanomètres, on prend généralement une dérivation de ce

courant afin de ne pas modifier l'aimantation ou échauffer le fil des cadres d'une manière anormale. On se sert pour cela d'un conducteur d'une résistance déterminée appelé *shunt*, expression anglaise consacrée par l'usage. Les shunts sont généralement établis par les constructeurs pour réduire l'intensité du courant à

$$\frac{1}{10}, \quad \frac{1}{100}, \quad \text{et} \quad \frac{1}{1000} \text{ de sa valeur;}$$

leurs résistances sont, par suite, 9 fois, 99 fois et 999 fois celle du galvanomètre.

MESURE DE L'INTENSITÉ

Ampèremètres. — Dans l'industrie, on mesure généralement l'intensité du courant en ampères au moyen d'instruments appelés *ampèremètres*.

Il existe un grand nombre d'ampèremètres; les plus usités sont ceux de MM. Deprez et Carpentier, sir William Thomson, Ayrton et Perry, Lippmann, etc., etc...

Ampèremètre Deprez. — Cet appareil se compose de deux bobines, très rapprochées l'une de l'autre et couplées en quantité; entre ces bobines, se trouve placée une petite armature en fer, mobile sur son axe et portant une aiguille indicatrice. Un aimant puissant placé verticalement enveloppe le système et maintient l'armature horizontalement.

Le courant est envoyé entièrement dans les bobines. Son passage modifie les lignes de force du champ magnétique, et l'armature prend une position d'équilibre correspondant à l'intensité de ce courant.

A chaque appareil est jointe une table qui donne le nombre d'ampères, suivant les divisions du cadran sur lequel se meut l'aiguille indicatrice.

Ampèremètre Deprez et Carpentier. — M. Carpentier a perfectionné l'appareil précédent en lui donnant la forme indiquée par la figure 62. Les bobines galvanométriques sont placées obliquement, et le champ magnétique est formé de deux aimants demi-

circulaires à pôles de mêmes noms en regard. La petite armature en fer est placée au milieu des bobines et porte une aiguille indicatrice qui se meut sur un cadran gradué.

Cette disposition a pour effet de doubler l'angle de déviation dans un sens et de l'annuler dans l'autre, ce qui oblige à faire passer le courant toujours dans la même direction, mais procure l'avantage de donner des indications beaucoup plus précises.

Lorsqu'on a besoin de mesurer des courants très intenses, on se sert d'un shunt formé d'une simple lame de cuivre rouge placée en dérivation sur la bobine de l'ampèremètre.

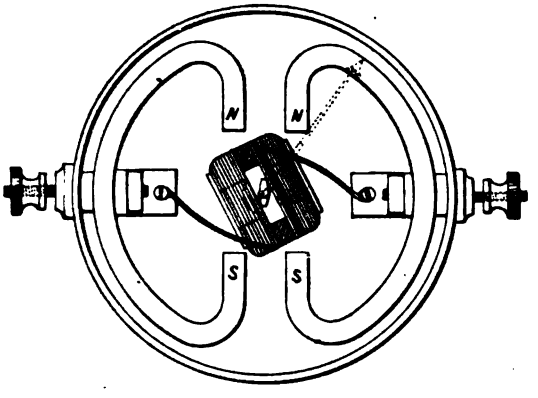


Fig. 62. — Ampèremètre Deprez et Carpentier.

Cet appareil est bien établi ; c'est certainement le plus répandu en France.

Ampèremètre à arête de poisson. — M. Deprez a également combiné un appareil différent du précédent et connu sous le nom d'*ampèremètre à arête de poisson* (Fig. 63).

Cet appareil se compose d'un puissant aimant permanent horizontal, dont le champ magnétique peut être considéré comme invariable, d'un cadre multiplicateur compris entre les branches de l'aimant, et d'une série de 18 aiguilles en fer doux montées sur un axe horizontal et placées dans l'intérieur du cadre.

Au lieu d'aiguilles séparées et disposées sur un axe, l'inventeur découpe une lame de fer doux en forme d'arête de poisson. Les pointes de l'arête étant magnétisées par l'aimant en fer à

cheval et maintenues dans son plan, l'action directrice de la terre n'a plus d'influence sur elles; il est donc inutile d'orienter l'appareil. (Cet avantage existe également dans les deux instruments qui précèdent et dans presque tous les ampèremètres usuels).

La lame découpée repose sur deux couteaux et porte à l'une de ses extrémités une aiguille verticale, qui indique sur un limbe gradué l'intensité du courant. Cette disposition a pour

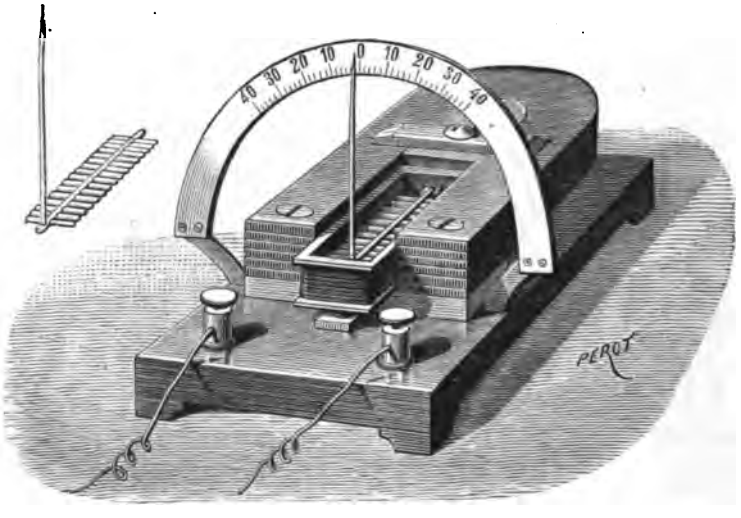


Fig. 63. — Ampèremètre à arête de poisson.

but d'amplifier les déviations et de rendre les indications plus claires et plus précises.

Au lieu d'un fil, on enroule sur le cadre galvanométrique une lame de cuivre, ayant au moins 10 millimètres carrés de section et faisant seulement 4 tours.

Deux bornes servent à amener le courant dans la lame du cadre.

Quand on veut se servir du même instrument pour indiquer les volts, on ajoute sur le cadre un fil de grande résistance qu'on met en communication avec deux bornes spéciales qui ne sont pas figurées sur notre dessin.

Nous examinerons plus loin comment, avec un semblable appareil, il est possible de mesurer des différences de potentiel.

Ampèremètre William Thomson. — L'ampèremètre Thomson (Fig. 64), se compose de trois parties distinctes : le cadre multiplicateur, constitué par une bobine demi-circulaire disposée verticalement, le bâti horizontal avec rainure graduée longitudinale, l'aiguille aimantée et son support en forme de secteur.

La bobine comprend 6 tours d'une lame de cuivre de 28 millimètres carrés de section, isolés avec du papier d'amiante. Elle est fixée à l'extrémité du bâti.

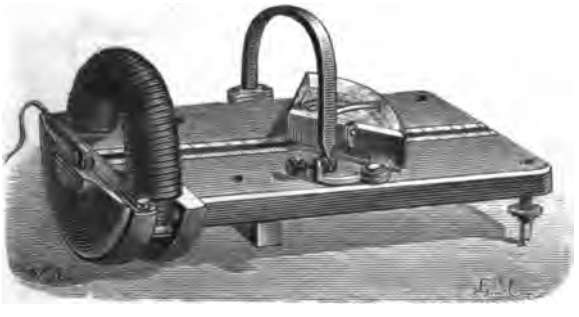


Fig. 64. — Ampèremètre William Thomson.

L'aiguille aimantée est formée de quatre petits barreaux en acier d'un centimètre de longueur, parallèles entre eux, constituant un équipage mobile autour de son axe vertical et relié à un index à double lame en aluminium qui se déplace au-dessus d'un cercle gradué. Cette aiguille est renfermée dans une cage en fer, recouverte d'une glace, formant le secteur d'oscillation et celui-ci peut se déplacer le long de la rainure du bâti, de manière à permettre de faire varier la distance du cadre galvanométrique et de l'aiguille.

La rainure longitudinale du bâti est divisée de telle façon que l'aiguille, placée dans un champ magnétique d'intensité égale à une unité donne, aux distances numérotées 1, 2, 3, des déviations respectivement égales à 1, 2, 3, lorsque l'intensité est égale à 1 ampère, ce qui revient à dire que, si l'intensité du champ magnétique est égale à une unité, le nombre des divisions indiquées par

l'instrument correspond dans tous les cas au nombre d'ampères du courant mesuré.

L'intensité du champ étant celle du magnétisme terrestre et non une unité, le résultat doit être ainsi rectifié :

$$I = \frac{h \times d}{n} \text{ ampères,}$$

h étant la composante horizontale du magnétisme terrestre,

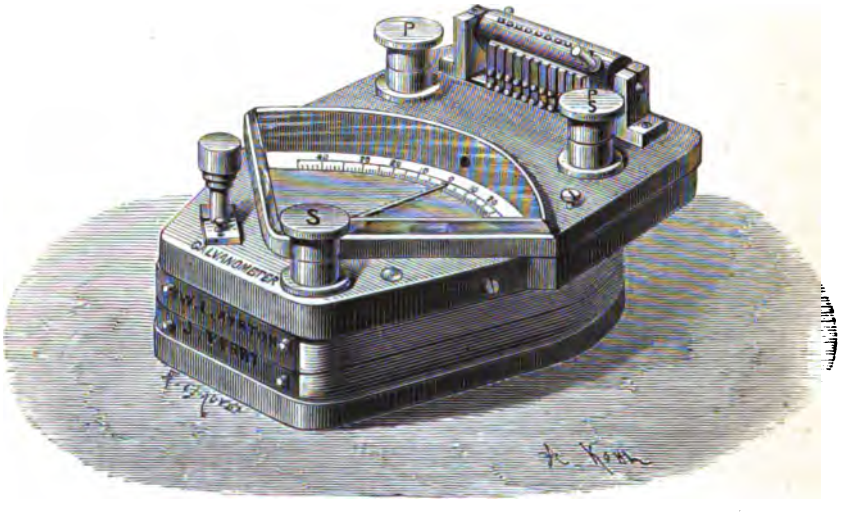


Fig. 65. — Ampèremètre Ayrton et Perry.

d le nombre indiqué par l'aiguille, et n la division indiquée sur le bâti.

Lorque le courant à mesurer est intense, on place au-dessus de l'aiguille un aimant directeur en demi-cercle pour réduire la sensibilité de l'appareil.

L'ampèremètre Thomson est très utile dans les ateliers où l'on construit des dynamos et du matériel électrique; il donne des indications précises et fonctionne longtemps sans aucun dérangement; il peut être employé avec des courants variant entre 0,005 et 150 ampères.

Ampèremètre Ayrton et Perry. — Cet appareil (Fig. 65) peut mesurer des courants alternatifs; il comprend un aimant puissant en fer à cheval, horizontal, portant deux armatures en fer

doux entre lesquelles se trouve placée une petite aiguille horizontale munie d'un index. Le cadre galvanométrique est formé de deux bobines placées en avant et en arrière de l'aiguille. La garniture des bobines est constituée par 10 fils isolés les uns des autres et câblés. Ces fils peuvent être couplés en série ou en quantité à l'aide d'un commutateur spécial placé sur la partie supérieure de la planchette servant de bâti à l'appareil.

Quand les fils sont réunis en quantité, un courant donné produit sur les armatures une déviation dix fois plus petite que si ces fils étaient couplés en tension. L'instrument, qui est très petit, peut ainsi mesurer un courant de 0 à 9 ampères avec les fils en tension, et de 0 à 90 ampères avec les fils en quantité.

MM. Ayrton et Perry ont également combiné un ampèremètre dans lequel l'action du courant sur l'aiguille est équilibrée par l'action d'un ressort spiral. Ils ont ainsi supprimé l'aimant permanent dont le magnétisme, diminuant avec le temps, crée des inexactitudes dans l'évaluation des courants.

En réglant convenablement la tension du ressort, on peut forcer l'aiguille à rester immobile tant que l'intensité n'atteint pas une certaine valeur, et changer à volonté l'échelle des indications de l'instrument.

Ampèremètre Weston. — L'ampèremètre Weston (Fig. 66) se compose, en principe, d'un disque horizontal placé entre les pôles d'un électro-aimant et ramené constamment à sa position initiale par un double ressort en spirale. Il est basé sur l'emploi de conducteurs se déplaçant dans un champ uniforme, de telle sorte que les lignes de force soient toujours coupées dans le même sens, quelle que soit l'amplitude du mouvement des conducteurs.

Le disque horizontal est fixé au milieu de l'arbre ; son bord est recourbé, et il repose dans une rigole circulaire pleine de mercure. L'extrémité inférieure de l'arbre est élargie et son bord est également recourbé ; elle repose, comme le disque, dans une coupelle de mercure.

Le courant entre par la coupelle du bas, longe l'axe et passe du centre à la circonférence du disque.

Sous l'action réciproque des courants qui traversent le disque

et du champ magnétique, l'arbre tend à prendre un mouvement de rotation, lequel est contrebalancé par la torsion du ressort.

Une aiguille se meut sur un cadran horizontal et indique l'intensité du courant à mesurer.

L'absence d'aimant permanent donne à cet instrument une précision remarquable.

Ampèremètre Lippmann. — Cet appareil, représenté fig. 67,

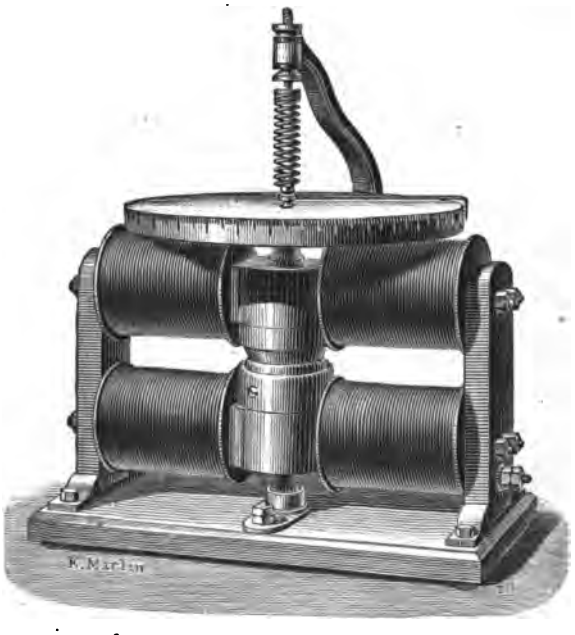


Fig. 66. — Ampèremètre Weston.

se compose d'un manomètre à mercure en U, placé entre les branches d'un aimant fixe, de telle sorte que les pôles de l'aimant se trouvent à droite et à gauche de la branche horizontale du manomètre. Le courant à mesurer traverse la branche horizontale et une des branches verticales du manomètre, et son passage détermine une différence de niveau proportionnelle à l'intensité.

La colonne de mercure placée dans le circuit électrique représente un élément du courant qui tend à repousser l'aimant dans une direction conforme à la loi d'Ampère. L'aimant étant immobile, c'est l'élément du courant qui se meut en sens opposé

et qui produit ainsi une dénivellation du mercure. Cette dénivellation est combattue par la pression hydrostatique, et c'est l'équilibre entre la force électro-magnétique et la pression hydrosta-

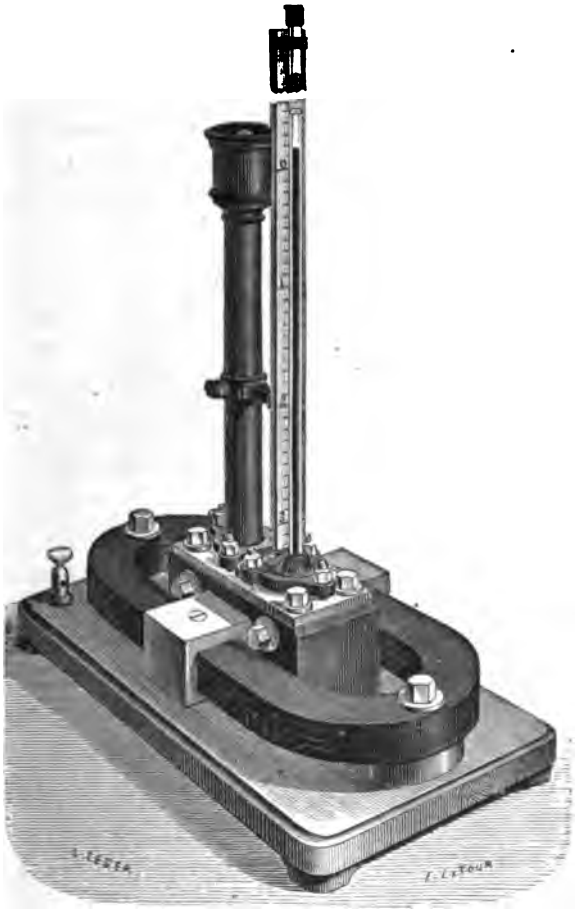


Fig. 67. — Ampèremètre Lippmann.

tique, équilibre différent pour chaque intensité du courant, qui permet de graduer l'appareil.

La sensibilité de cet ingénieux instrument va en augmentant avec l'intensité magnétique et avec la minceur du filet de mercure. L'aimant est armé de deux masses de fer doux qui arrivent presque au contact l'une de l'autre, ne laissant entre elles qu'une

sorte de fente où l'intensité magnétique est considérable et très uniforme. Dans cette fente se trouve une petite chambre à mercure qui fait partie de la branche horizontale du manomètre.

L'ampèremètre Lippmann est surtout employé pour mesurer l'intensité du courant fourni par des piles primaires de faible débit. Ses indications sont d'une très grande précision.

Électro-dynamomètres. — Les *électro-dynamomètres* sont des instruments qui utilisent l'action des courants sur les courants, différant en cela des *ampèremètres* qui utilisent ordinairement l'action d'un aimant sur un courant.

Weber, qui a combiné le premier appareil pratique basé sur ce principe, se servait de deux conducteurs, l'un fixe traversé par le courant à mesurer, l'autre mobile traversé par un courant constant. Pour plus de simplicité, l'inventeur faisait passer le courant à mesurer dans les deux conducteurs ; les déviations étaient alors proportionnelles au carré de l'intensité.

Les électro-dynamomètres s'emploient aussi bien avec des courants alternatifs qu'avec des courants continus, car, lorsque le courant change de sens, il le fait à la fois dans les deux conducteurs ; l'action réciproque de ces conducteurs ne subit donc aucune variation de ce fait.

Électro-dynamomètre Siemens. — MM. Siemens et Halske, s'inspirant des travaux de Weber, ont construit un électro-dynamomètre dans lequel l'action de la terre sur le conducteur mobile est annulée. Leur instrument (Fig. 68) se compose d'une bobine fixe placée à l'intérieur d'un anneau vertical, mobile, formé d'un cadre n'ayant qu'un seul tour de fil et mis dans le circuit par deux contacts de mercure. Cet anneau est suspendu à un ressort en spirale dont l'extrémité est attachée à une douille métallique portant un index. Les torsions du ressort sont proportionnelles au carré de l'intensité du courant.

L'action d'un courant sur les deux cadres est proportionnelle au produit des nombres de tours que le courant fait sur ces deux cadres. Il résulte de là, qu'avec un même courant on obtient la même déviation en plaçant dix tours de fil sur chaque cadre ou en mettant cent tours sur le cadre mobile et un seul tour sur

l'autre ; seulement, dans ce dernier cas, l'action de la terre sur la bobine mobile est nulle par rapport à celle de la bobine fixe. Il est donc inutile d'orienter l'appareil pour s'en servir.

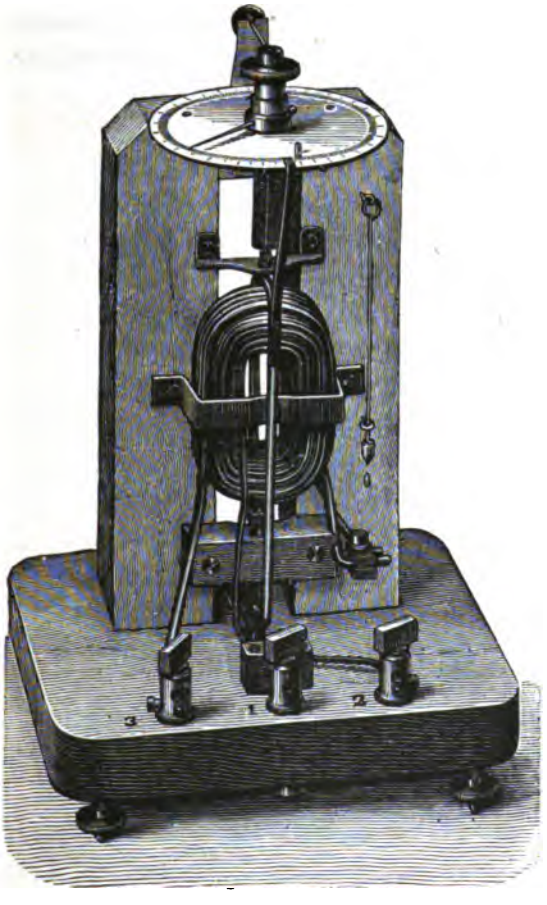


Fig. 68. — Électro-dynamomètre Siemens.

Électro-dynamomètre Carpentier. — Dans l'électro-dynamomètre combiné par M. Carpentier (Fig. 69) le ressort spiral et la suspension de soie de l'instrument précédent sont remplacés par un fil métallique de torsion. Les bobines BB' maintenues par un support sont enroulées d'une bande de cuivre de section suffisante pour donner passage au courant à mesurer. La bobine

mobile, reliée en quantité avec la bobine fixe, porte une aiguille d'aluminium *g* dont l'extrémité joue entre les deux buttées *a*.

Pour équilibrer les deux influences magnétiques, on tourne le bouton A jusqu'à ce que l'aiguille *g* flotte librement entre ces deux buttées. On lit ensuite la torsion sur le cadran C. Le courant arrive à l'appareil par les bornes extérieures et les pinces DD′ qui reçoivent la bande de cuivre.

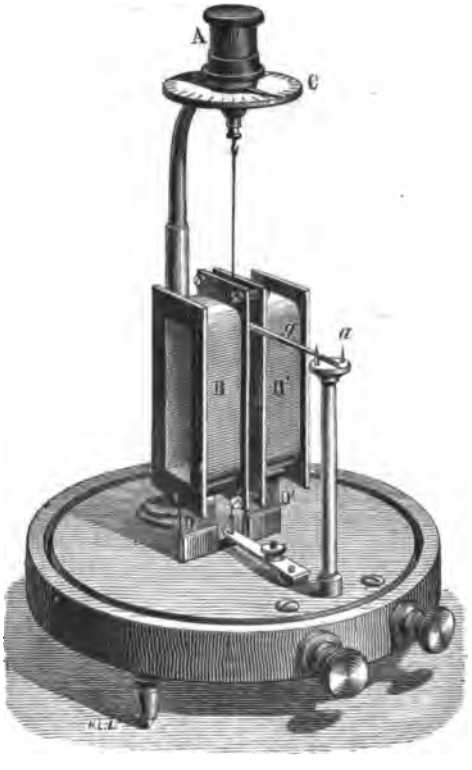


Fig. 69. — Électro-dynamomètre Carpentier.

Voltamètres. — Lorsqu'on veut mesurer un courant d'intensité constante pour tarer ou vérifier des ampèremètres, par exemple, on se sert de voltamètres à sels de cuivre ou d'argent. Ces appareils ont sur les galvanomètres et leurs dérivés l'avantage de ne pas exiger la détermination préalable d'une constante et de donner toujours des résultats rigoureusement exacts. Nous y reviendrons lorsque nous parlerons de la mesure des quantités.

MESURE DES DIFFÉRENCES DE POTENTIEL

Voltmètres. — Pour mesurer les différences de potentiel, on se sert d'électromètres et de voltmètres; les premiers sont basés sur l'attraction ou la répulsion qu'exercent l'un sur l'autre deux conducteurs électrisés; et les derniers sont, comme les ampèremètres, basés sur l'emploi des cadres galvanométriques. En pratique courante, on ne se sert que de voltmètres; les électromètres sont des instruments d'un maniement trop délicat pour être employés dans les ateliers et les installations; ils conviennent très bien au contraire pour les laboratoires scientifiques, où ils donnent de précieuses indications.

Nous ne décrirons ici que les voltmètres les plus usuels.

Voltmètre Deprez-Carpentier. — Cet appareil est construit sur le même principe et dans les mêmes conditions que l'ampèremètre des mêmes inventeurs (Fig. 62). La seule différence se trouve dans les fils qui garnissent les bobines : au lieu d'un fil gros et court, on emploie dans les voltmètres un fil très long et très fin dont la résistance est d'environ 2000 ohms. La graduation est faite pour chaque appareil au moyen d'une série d'expériences contrôlées par des instruments d'une haute précision.

On place ces voltmètres en dérivation entre les deux points dont on veut connaître la différence de potentiel, en ayant soin d'établir sur la dérivation un contact à ressort, comme dans les sonneries, de manière à ce que l'appareil ne donne d'indication que lorsqu'on appuie sur un bouton. Cette disposition a pour but de ne pas dépenser constamment une fraction du courant dans les bobines du cadre galvanométrique, et surtout d'éviter l'échauffement du fil fin qui fausserait les indications.

Voltmètre à arête de poisson. — L'appareil combiné par M. Deprez, et représenté figure 63, est disposé pour mesurer non seulement les ampères, mais encore les volts; à cet effet, il existe sur le cadre un fil de grande résistance, qu'on met en communication avec deux bornes spéciales. On attache à ces bornes les fils placés en dérivation sur les points dont on cherche la différence de potentiel.

On peut même lire simultanément, à l'aide de cet instrument, l'intensité du courant et la différence de potentiel entre deux points quelconques du circuit. Cette propriété est basée sur cette remarque que, si l'on envoie un courant : 1° dans le gros fil du cadre; 2° dans le fil fin; 3° dans les deux fils à la fois, le nombre indiqué par l'aiguille dans cette dernière expérience est la somme algébrique des nombres indiqués dans les deux premières.

Ainsi, l'ampèremètre, c'est-à-dire le gros fil du cadre galvanométrique, étant dans le circuit, l'aiguille indique constamment l'intensité du courant; en appuyant sur un bouton de contact, on met le fil fin dans le circuit de dérivation, et le nombre de volts est proportionnel au déplacement supplémentaire de l'aiguille.

Voltmètre Ayrton et Perry. — Les voltmètres de MM. Ayrton et Perry, à aimants et à ressorts, ne diffèrent de leurs ampèremètres que par la résistance des fils et des bobines. Dans l'appareil à dix fils câblés, chaque fil a une résistance de 200 ohms; la résistance totale est donc de 2000 ohms si les fils sont couplés en tension, et de 20 ohms seulement s'ils sont couplés en quantité.

Voltmètre William Thomson. — Cet appareil ne diffère de celui représenté (Fig. 64) que par sa bobine formée d'un fil fin en maillechort de plus de 2000 mètres de longueur, faisant 7000 tours et présentant plus de 6000 ohms de résistance. Lorsqu'il s'agit de mesurer des différences de potentiel supérieures à 10 volts, on emploie l'aimant directeur et on place le voltmètre en dérivation sur le courant, en éloignant plus ou moins l'aiguille de manière à avoir une déviation suffisamment grande. Pour des différences de potentiel inférieures à 10 volts, on supprime l'aimant et on oriente l'appareil de façon que l'index de l'aiguille soit au zéro de la graduation.

Voltmètre Ross. — Ce voltmètre, représenté par la figure 70, se compose d'un solénoïde A, en arc de cercle, à l'intérieur duquel se meut le tube en fer B, supporté par un levier L articulé en O. Une aiguille D, solidaire du levier L, indique sur le cadran C le degré de pénétration de l'armature dans le solénoïde.

Le fil constituant le solénoïde est en maillechort, de sorte que l'influence des changements de température est inappréciable, ce qui permet de laisser constamment l'instrument dans le circuit, contrairement à ce qui a lieu avec les voltmètres dont nous venons de parler.

Le courant, en traversant le solénoïde, développe un magnétisme qui tend à faire pénétrer l'armature, tandis que le poids de cette armature agit en sens inverse. Le poids, relativement grand, de l'armature B rend possible l'adjonction au voltmètre d'un appareil de contrôle composé, par exemple, de deux lampes à

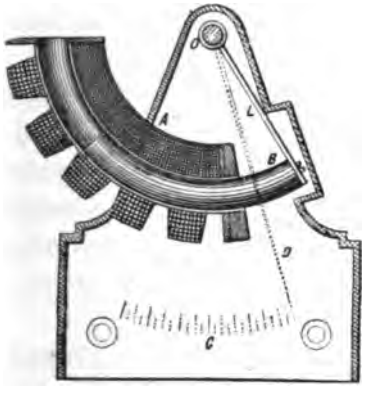


Fig. 70. — Voltmètre Ross.

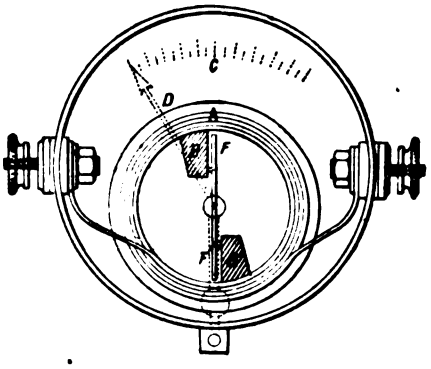


Fig. 71. — Voltmètre Javaux.

incandescence de couleurs différentes, s'allumant lorsque la différence de potentiel s'écarte d'une quantité déterminée, en plus ou en moins, de celle qui doit exister en régime normal.

Le voltmètre Ross, ne renfermant ni aimant permanent, ni ressort antagoniste, ne peut pas se fausser pendant le transport, ni s'altérer avec le temps; ses indications sont suffisamment précises en pratique; c'est un bon instrument industriel.

La seule précaution à prendre au montage consiste à le mettre bien de niveau sur une tablette. A cet effet, il est muni d'un fil à plomb facile à consulter lors de l'installation et de la vérification des appareils.

Voltmètre Javaux. — C'est encore un véritable outil industriel que nous représentons figure 71. Il se compose d'un solé-

noïde A d'une certaine épaisseur, formé avec du fil de diamètre convenable, dans l'intérieur duquel se meut une palette en fer F oscillant autour du centre. Deux pièces de fer B B, fixées dans le solénoïde, sont très rapprochées de la palette lorsque l'appareil est placé verticalement et que le courant ne le traverse pas.

Quand le solénoïde est mis dans le circuit d'un courant électrique, la palette F et les pièces fixes B s'aimantent dans le même sens et tendent à se repousser. Cette action répulsive force la palette à osciller, et l'amplitude de ses oscillations est d'autant plus grande que la différence de potentiel est plus élevée. Une aiguille D, solidaire de la palette, indique sur le cadran C la différence de potentiel cherchée.

Un contrepoids ramène constamment l'aiguille à sa position initiale. Pour fixer l'appareil, on le suspend au moyen d'une entaille ménagée sur la face opposée au cadran ; on s'assure que l'aiguille est au zéro et on place une vis en bas. De cette façon, on est certain d'avoir des indications exactes et on supprime absolument tout risque d'altération ou de dérangement dans la marche de l'instrument.

Pour rendre les déviations de l'aiguille sensiblement proportionnelles aux forces électromotrices à mesurer, M. Javaux a disposé à l'extérieur du solénoïde A, perpendiculairement aux pièces BB, deux autres pièces de fer agissant sur la palette en sens inverse des premières. Ces pièces ont un développement polaire allant de l'extérieur à l'intérieur du solénoïde et sont ainsi suffisamment rapprochées de la palette.

Voltmètre Egger. — La maison Egger, de Vienne, construit des voltmètres basés sur le même principe et que nous représentons figure 72.

Comme dans l'appareil de M. Javaux, la bobine A est traversée par une dérivation du courant à mesurer, et elle renferme une pièce fixe B et une pièce mobile F, toutes deux en fer. Chacune de ces pièces occupe environ le quart de la circonférence intérieure du solénoïde.

La pièce mobile tend à occuper, sous l'action de son propre

poids, la position verticale indiquée sur la figure 72. La répulsion magnétique la dirige au contraire dans le sens opposé à la pièce fixe, de sorte qu'elle prend, sous l'influence de ces deux forces, une position d'équilibre moyenne, indiquée par une aiguille D sur le limbe gradué C.

Voltmètre Imhof. — C'est encore sur l'action répulsive de deux parties d'un noyau de solénoïde aimantées dans le même sens qu'est basé le voltmètre de M. Imhof (Fig. 73). La forme des

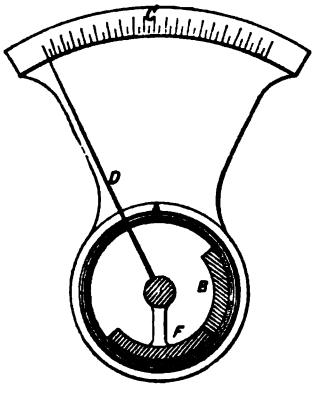


Fig. 72. — Voltmètre Egger.

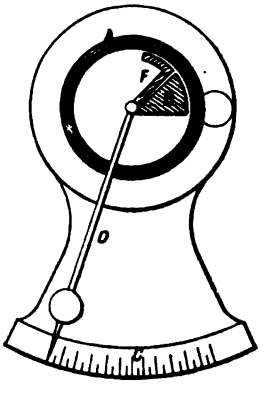


Fig. 73. — Voltmètre Imhof.

pièces seule diffère un peu de celle des appareils Javaux et Egger.

La pièce fixe est constituée par un secteur B en fer doux; la pièce mobile a la forme d'un 7, le contrepoids est horizontal dans sa position de repos, et l'aiguille D se meut devant le cadran C placé au-dessous du solénoïde A.

La partie radiale de la pièce mobile est située à peu près dans le prolongement de l'aiguille indicatrice; la partie arquée de cette même pièce constitue l'amortisseur des oscillations de ladite aiguille.

Il existe encore plusieurs voltmètres, notamment celui de M. Waterhouse, de Hartford, basés sur l'action répulsive de deux fractions du noyau d'un solénoïde; mais la description des trois appareils précédents suffit pour en faire comprendre le mérite exceptionnel.

Ces instruments ne sont pas destinés aux mesures rigou-

reuses à effectuer dans un laboratoire d'études et de recherches scientifiques; mais ils sont bien supérieurs aux voltmètres à aimants permanents, pour les installations industrielles, alors qu'il s'agit d'indiquer seulement les petites fluctuations survenant dans les différences de potentiel entre deux points d'un circuit électrique.

MESURE DE LA FORCE ÉLECTROMOTRICE

Force électromotrice d'une pile. — Il existe un grand nombre de méthodes pour mesurer la force électromotrice d'une pile ; mais toutes sont basées sur la comparaison de cette pile avec une autre pile prise comme étalon. Nous en indiquerons quelques-unes, très sommairement, car les piles sont bien rarement employées pour l'éclairage électrique.

Méthode d'opposition. — On prend un certain nombre d'éléments de la pile à mesurer et de la pile étalon, et on oppose ces deux groupes d'éléments en en faisant varier le nombre jusqu'à ce qu'un galvanomètre placé entre eux reste au zéro. En supposant qu'il ait fallu n éléments en tension de la pile à mesurer pour équilibrer n' éléments en tension de la pile étalon ayant chacun une force électromotrice égale à E, on aura pour la force électromotrice cherchée E' :

$$E' = \frac{En}{n'}.$$

Méthode de Wiedemann. — On mesure les intensités des deux piles mises toutes deux en circuit avec un galvanomètre, en ajoutant leurs courants, puis en les retranchant. En appelant I et E l'intensité de courant et la force électromotrice de la pile étalon, I' et E' l'intensité de courant et la force électromotrice de la pile considérée, on a :

$$E' = \frac{E(I - I')}{I + I'}.$$

Méthode de Poggendorff. — Les piles sont disposées en opposition avec un shunt de grande résistance. Une seconde résistance est placée sur le circuit de la pile la plus forte, et un galva-

nomètre est mis sur le circuit de l'autre. On commence par ajuster les deux résistances de manière à ce que l'aiguille du galvanomètre soit sur le zéro; puis on diminue les deux résistances de telle sorte que l'aiguille revienne encore à zéro.

En appelant R et r les premières résistances, R′ et r' les secondes, on aura la valeur de E′ par la formule :

$$E' = \frac{R - R'}{E\,(R - R' + r - r')}.$$

E étant la force électromotrice de la pile étalon.

Méthode de la grande résistance. — Cette méthode consiste à mettre successivement dans un circuit, comprenant un galvanomètre et une grande résistance, d'abord la pile étalon, puis la pile à mesurer, et à prendre le rapport des deux déviations obtenues. Elle est basée sur ce fait que les intensités fournies par différents éléments de pile sur un circuit extérieur très résistant (8000 à 10000 ohms) sont proportionnelles aux forces électromotrices de ces éléments. En établissant un shunt près du galvanomètre et en disposant convenablement les résistances du shunt et du circuit, on peut obtenir la force électromotrice en dixièmes, en centièmes et même en millièmes de volts.

Force électromotrice d'une dynamo. — La force électromotrice E d'une dynamo ne peut pas se mesurer directement, mais elle se calcule facilement lorsqu'on connaît la différence E′ de potentiel aux bornes pour un débit déterminé I, la résistance r de l'induit entre balais et la résistance totale r' de l'inducteur.

Nous supposerons d'abord que l'excitation des inducteurs est faite en série. L'intensité étant la même dans toutes les parties du circuit, à l'intérieur comme à l'extérieur de la dynamo, on a :

$$E = E' + I\,(r + r').$$

Il faut remarquer que, dans les machines à deux pôles des types Gramme et Siemens, la résistance r de l'induit, prise aux balais de la dynamo, n'est que le quart de la résistance totale du fil sans fin entrant dans la construction dudit circuit, puisque les

bobines partielles sont couplées en tension d'un frotteur à l'autre, et réunies en quantité à l'endroit même où ces frotteurs sont en contact avec le collecteur.

Dans le cas où l'excitation est faite en dérivation ou compound, il faut calculer séparément le nombre de volts e absorbé par l'induit et celui e' absorbé par l'inducteur, ce qui est facile lorsqu'on connaît la résistance des fils inducteurs et l'intensité du courant qui les traverse ; on a alors :

$$E = E' + e + e'.$$

Nous dirons plus loin comment on calcule les diverses résistances d'une dynamo.

MESURE DES RÉSISTANCES

Boîte de résistances. — On appelle ainsi une série de bobines réunies dans une caisse et susceptibles d'être groupées de diverses manières au moyen de chevilles mobiles.

Les boîtes dont on se sert généralement pour les mesures électriques ont leurs bobines enroulées avec du fil de maillechort recouvert d'une double couche de soie et dont la grosseur varie avec la résistance qu'on veut obtenir. Ces bobines sont trempées dans la paraffine et placées les unes à côté des autres dans une caisse en bois sur le couvercle de laquelle sont disposés des blocs rectangulaires en laiton séparés par un intervalle d'un millimètre environ. Chaque bloc est réuni au bout commençant d'une bobine et au bout finissant de la bobine suivante et fait, par suite, communiquer ces bobines entre elles. Les deux blocs extrêmes ne reçoivent qu'un fil et ils portent une borne servant à intercaler l'appareil dans le circuit.

La résistance prise aux deux bornes est égale à la somme totale des résistances partielles des bobines mises en circuit, puisque les blocs sont isolés les uns des autres.

Pour faire varier cette résistance, on ménage entre deux blocs une ouverture circulaire pouvant recevoir une cheville ronde en cuivre, laquelle cheville met en court circuit les deux blocs considérés en supprimant du circuit principal la bobine

reliée à ces blocs; des entailles circulaires semblables existent entre chaque paire de blocs; il en résulte qu'on peut mettre toutes les bobines hors du circuit principal, et, comme la section des blocs est relativement considérable, lorsque les chevilles sont toutes en place, le courant traverse la boîte sans rencontrer de résistance. L'enlèvement d'une cheville introduit dans le circuit la résistance de la bobine intermédiaire dont la valeur est indiquée à côté de l'entaille où elle est placée.

Généralement les bobines des boîtes employées dans les

Fig. 74. — Boîte de résistances.

ateliers d'essais ont des résistances de 1, 2, 4, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1 000 et 2 000 ohms (Fig. 74).

Mesure d'une faible résistance. — Pour mesurer une résistance peu considérable, on interpose dans le circuit d'une pile constante un galvanomètre, une boîte de résistances et la résistance à mesurer. On fait ensuite les deux observations suivantes :

1° On note la déviation de l'aiguille lorsque toutes les chevilles de la boîte sont en place;

2° On supprime la résistance qu'on veut mesurer et on enlève des chevilles jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre soit revenue au point que l'on a noté dans la première observation.

La résistance cherchée est égale à la somme des résistances des bobines mises en action.

Au lieu d'un seul élément de pile, il est préférable d'en employer plusieurs pour donner au courant la constance et la régu-

larité indispensables pour assurer l'exactitude de cette méthode.

On peut également se servir d'une boussole différentielle dans le circuit de laquelle on met en opposition la résistance à mesurer et la boîte de résistances. On équilibre les deux résistances en plaçant convenablement les chevilles. Pour plus de sûreté, on intervertit la position des résistances et on prend une moyenne.

Mesure des grandes résistances. — Les grandes résistances se mesurent généralement à l'aide d'un *pont de Wheatstone*, instrument basé sur ce fait que les différences de potentiel entre plusieurs points d'un même circuit électrique sont proportionnelles aux résistances comprises entre ces points.

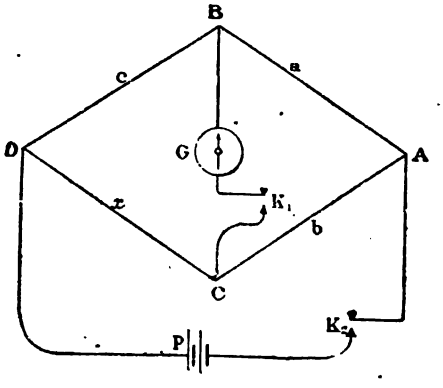


Fig. 75. — Pont de Wheatstone.

Le pont de Wheatstone est généralement représenté par la figure schématique 75. La pile P productrice du courant est sur la diagonale AD. Les trois résistances *a b c* sont formées au moyen de bobines étalonnées; la résistance à mesurer est en x. On met le galvanomètre G sur la diagonale BC et on installe en K_1 et K_2 deux interrupteurs, ou mieux deux contacts à ressort, pour ne faire travailler la pile qu'au moment de l'observation.

Les deux résistances a et b sont données *a priori*, la résistance c est constituée à l'aide d'une boîte de résistances jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre indique zéro, c'est-à-dire jusqu'à ce que les points B et C aient le même potentiel; la résistance cherchée est donnée par la formule :

$$x = \frac{bc}{a}.$$

Cette méthode n'exige pas l'emploi d'une pile constante,

puisque la mesure est indépendante de l'intensité du courant. Elle est également indépendante de la résistance du galvanomètre.

Résistance d'une pile. — On mesure la résistance d'une pile en intercalant dans son circuit une boussole des tangentes et une bobine dont la résistance est connue; on note la déviation. Puis on fait un second essai en remplaçant la bobine par une deuxième bobine d'une résistance supérieure, et on note également la déviation.

En désignant par R la résistance de la première bobine, par R' la résistance de la deuxième bobine, par a l'angle de déviation correspondant à R, par b l'angle de déviation correspondant à R', par g la résistance de la boussole, par n le nombre d'éléments de la pile et par x la résistance cherchée, on a :

$$x = \frac{\operatorname{tg} b\ (g + R') - \operatorname{tg} a\ (g + R)}{n\ (\operatorname{tg} a - \operatorname{tg} b)}.$$

Résistance d'une dynamo. — La mesure de la résistance d'une dynamo au repos s'effectue à l'aide du pont de Wheatstone, comme celle d'un conducteur quelconque.

En marche le fil s'échauffe et la résistance augmente; il est donc nécessaire de prendre la mesure quand l'induit est en mouvement et que le circuit est fermé par la résistance extérieure sur laquelle s'effectue le travail utile.

Pour opérer cette mesure, on réunit les frotteurs au moyen d'un fil dont la résistance est telle qu'une boussole des tangentes intercalée dans le circuit extérieur, indique une intensité un peu supérieure à celle de régime; puis on modifie cette résistance de manière que l'intensité indiquée soit un peu inférieure à celle de régime. En désignant par a et b les angles observés, par x la résistance à mesurer, par r et r' les résistances réunissant les frotteurs, on aura :

$$x = \frac{r' \operatorname{tg} b - r \operatorname{tg} a}{\operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}.$$

Quand on mesure la résistance d'une dynamo au repos, il

faut prendre certaines précautions afin de ne pas fausser les indications. Ainsi, il est nécessaire de mettre la clé du coupe-circuit dans le circuit du galvanomètre et de tenir le courant de la pile fermé sur le pont pendant toute la durée de l'opération; sans cela, le magnétisme rémanent de la machine induirait un courant qui agirait sur le galvanomètre à la fermeture du circuit.

On peut encore mesurer la résistance d'une dynamo en la faisant traverser par un courant et en l'empêchant de tourner; puis, en mesurant les ampères et les volts aux bornes.

La résistance est alors donnée par la formule :

$$R = \frac{E}{I}.$$

Tout naturellement les volts doivent être constatés à l'entrée et à la sortie des électros pour l'inducteur, et aux deux balais pour l'induit.

MESURE DE LA QUANTITÉ

Appareils électrolytiques. — On mesure la quantité d'électricité qui circule dans un conducteur au moyen de voltamètres à gaz ou à liquides, le plus souvent à liquides, ou par des instruments gradués, basés sur des indications galvanométriques.

Dans le cas d'un courant bien régulier, à intensité bien constante, il suffit d'enregistrer la durée de son passage dans le conducteur considéré et de multiplier l'intensité (en ampères) par le temps, pour avoir le nombre de coulombs ; mais ce cas ne se présente guère que dans les installations centrales à arcs voltaïques, où les foyers sont payés au mois, sans aucun compteur. Il faut le plus souvent connaître la quantité d'électricité qui s'écoule sous une différence de potentiel constante, comme cela a lieu dans les éclairages à incandescence. C'est alors que les voltamètres sont employés avec succès.

En plaçant sur le passage d'un courant un bain décomposable, le volume des gaz produits ou le poids du métal mis en

liberté indique très exactement le nombre des coulombs qui ont traversé le circuit.

Nous avons dit qu'un ampère-heure, ou 3600 coulombs, libérait 0,0375 gramme d'hydrogène (ou 0,0375 gramme multiplié par l'équivalent chimique, rapporté à l'hydrogène, du corps libéré, s'il s'agit d'un bain quelconque); par conséquent, il sera toujours facile, au moyen d'une table des équivalents chimiques, de connaître le nombre de coulombs mis en œuvre pour une décomposition donnée.

Dans les voltamètres à gaz, l'oxygène forme des composés secondaires difficiles à éviter, et l'hydrogène se condense en quantité notable sur l'électrode négative; les indications sont donc souvent faussées; d'autre part, ces appareils consomment par eux-mêmes une quantité assez notable d'électricité prise sur la quantité totale à mesurer; ils sont, pour ces diverses raisons, très peu employés.

Voltamètres à dépôts métalliques. — On fait couramment usage de voltamètres pour étalonner les instruments de mesures et pour indiquer la consommation d'une série de brûleurs placés en dérivation sur la même dynamo. On choisit généralement un bain à anode soluble, ne se polarisant pas, afin d'éviter la production d'une force contre-électromotrice. Le plus souvent, on se sert de sulfate de cuivre acidulé au vingtième, qui est bon conducteur, donne de bons dépôts et coûte peu. Sa préparation est extrêmement simple et le bain peut se conserver longtemps, si l'on a soin de le maintenir constamment à l'état de saturation.

Quand on cherche un dépôt plus rapide, on remplace le sulfate de cuivre par un sel d'argent (chaque coulomb mettant en liberté 1,116 milligramme d'argent contre 0,33 milligramme de cuivre); on emploie alors un cyanure double de potassium et d'argent, ou de l'azotate d'argent; mais de préférence le premier.

On prépare le cyanure double en précipitant l'azotate d'argent par le cyanure de potassium, et en ajoutant du cyanure jusqu'à ce que le précipité soit entièrement dissous.

Pour mesurer des courants intenses, on n'envoie dans les bains qu'une partie déterminée du courant, en établissant une dérivation dont on calcule la résistance par rapport à la résistance totale du circuit.

En désignant par R la résistance totale, par R' la résistance de la dérivation, et par q la quantité mesurée sur la dérivation, le nombre Q des coulombs ayant traversé le circuit est donné par la formule :

$$Q = \frac{R'q}{R}.$$

Compteur Edison. — Le compteur Edison comprend deux voltamètres hermétiquement bouchés, renfermant une dissolution de sulfate de zinc et, par suite, des électrodes en zinc. Ces voltamètres sont traversés par une faible dérivation du courant ; l'un donne la mesure des coulombs, l'autre sert de contrôle. Une lampe à incandescence, placée sous les voltamètres, est mise automatiquement dans le circuit lorsque la température s'abaisse aux environs de 0 degré. Grâce à cette précaution, on n'a pas à craindre un refroidissement excessif du bain qui pourrait diminuer le dépôt électrolytique du zinc. Pour connaître la quantité d'électricité consommée, on retire les électrodes et on les pèse. En les remettant dans le bain, on les change de pôles, afin que le zinc déposé sur l'une des lames se dissolve et que le dépôt s'opère sur l'autre lame.

L'inventeur a modifié ce premier appareil pour simplifier la mesure du nombre de coulombs dépensés. A cet effet, il a disposé les électrodes aux extrémités d'un fléau qui s'incline dans un sens ou dans l'autre, suivant le poids du métal déposé. Dès que ce fléau bascule, les communications électriques changent ainsi que le sens du courant ; le métal se dépose alors sur une des lames jusqu'à ce qu'elle atteigne un poids donné. A ce moment, elle fait basculer le fléau, et c'est la seconde lame qui reçoit à son tour le dépôt métallique, pendant que l'autre se dissout dans le bain.

Un totalisateur mécanique, analogue à ceux employés dans

les compteurs à eau et à gaz, enregistre le nombre des coulombs qui traversent l'appareil.

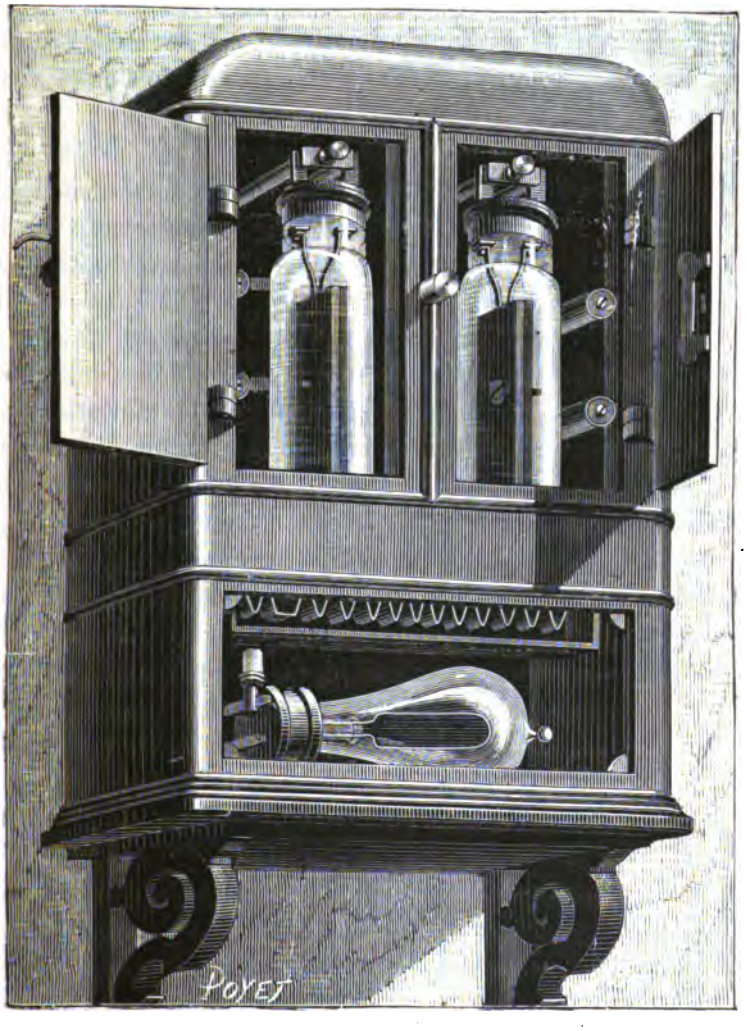


Fig. 76. — Compteur Edison.

Compteur Aron. — Ce compteur est basé sur des actions physiques et non sur des actions chimiques comme les précédents. Il consiste en un pendule pour lequel le rapport de l'accélération au temps est exactement proportionnel au courant. La lentille pesante est remplacée par un aimant cylindrique qui oscille au-

dessus d'une bobine traversée par le courant à mesurer. La direction du courant est telle qu'il tend à attirer l'aimant vers le bas, augmentant pour ainsi dire l'action de la pesanteur et accélérant le mouvement. Pour que la durée des oscillations puisse être exactement proportionnelle au courant, on doit employer un acier très dur.

Compteur Cauderay. — Cet appareil se compose essentiellement d'un mouvement d'horlogerie battant la seconde et d'un ampèremètre dont les indications sont enregistrées mécaniquement toutes les secondes.

Le mécanisme principal est constitué par un cylindre hérissé de pointes, ayant quelque analogie avec les cylindres des boîtes à musique, et par une aiguille de contact dont les déviations sont proportionnelles à l'intensité du courant. Les pointes sont réparties sur une série de circonférences équidistantes tracées sur le cylindre. Au milieu du cylindre, la circonférence est lisse de sorte que, lorsque l'aiguille est à sa position médiane, elle ne rencontre aucune pointe. Les deux circonférences voisines, à gauche et à droite du milieu, ont chacune une pointe ; les deux circonférences qui suivent en ont deux, puis trois, puis quatre, en augmentant toujours d'une pointe en avançant vers les extrémités. Lorsque le courant passe, l'aiguille dévie à droite ou à gauche, de telle sorte que sa flèche terminale touche le cylindre sur la première circonférence lorsque l'intensité est d'un ampère, sur la seconde circonférence lorsqu'il passe deux ampères et ainsi de suite. Les pointes du cylindre, en rencontrant l'aiguille, produisent un contact qui fait avancer d'une unité l'aiguille d'un totalisateur semblable à ceux des compteurs à gaz.

Le cylindre, mû par un mouvement d'horlogerie, fait un tour par seconde ; le totalisateur enregistre donc les ampères qui passent dans un temps donné, c'est-à-dire les coulombs.

Le mouvement d'horlogerie est composé d'un balancier circulaire réglé par un ressort à spirale et portant sur son arbre deux armatures en fer doux, lesquelles sont attirées par des électro-aimants placés *ad hoc*. Ces électro-aimants sont excités par une petite fraction du courant à mesurer.

Cet appareil est fort ingénieux ; mais il est trop compliqué pour être utilisé dans une installation réellement pratique.

Il a d'ailleurs le grave inconvénient de n'enregistrer que des unités et de ne pas tenir compte des déviations comprises entre deux circonférences voisines du cylindre.

Compteur Jacquemier. — Les parties essentielles de cet instrument sont : un ampèremètre, une came solidaire de l'aiguille de cet ampèremètre, une horloge ordinaire, un mouvement d'horlogerie à train différentiel.

L'horloge fait déclencher successivement, à des intervalles réguliers, les deux mobiles du train différentiel, dont l'un porte une aiguille animée ainsi d'un mouvement angulaire alternatif. L'extrémité de cette aiguille vient périodiquement (deux à six fois par minute) s'appuyer sur la tranche de la came.

La courbure de la came a été déterminée expérimentalement de telle sorte que les arcs décrits par l'aiguille sont, à chaque période, proportionnels à l'indication de l'ampèremètre.

Ces déplacements sont totalisés sur une série de cadrans disposés comme ceux des compteurs à gaz et gradués en coulombs.

L'ampèremètre peut-être remplacé par un électro-dynamomètre ; les cadrans sont alors gradués en conséquence.

MESURE DE L'ÉNERGIE ET DU RENDEMENT

Evaluation du travail électrique. — Le travail électrique total engendré par une pile ou une dynamo se compose du travail utilisable qu'on recueille aux bornes de l'appareil et des pertes de toute nature inhérentes à l'appareil lui-même. On appelle *rendement industriel* le rapport entre le travail utile et le travail total dépensé, et *rendement électrique,* le rapport entre le travail utile et ce dernier augmenté du travail électrique intérieur. Naturellement, le rendement électrique est toujours plus grand que le rendement industriel puisqu'il ne comprend, de toutes les pertes occasionnées par la transformation de l'énergie, que celle,

souvent minime, produite par le passage du courant dans l'intérieur de l'appareil.

L'évaluation de la puissance électrique utile, ou travail utile par seconde, s'obtient par l'une des trois opérations suivantes :

1° Effectuer le produit el, après avoir mesuré l'intensité I dans la portion considérée du conducteur et la différence de potentiel e entre ses deux extrémités ;

2° Effectuer le produit $I^2 R$, après avoir déterminé l'intensité du courant et la résistance totale du conducteur traversé par ce courant;

3° Effectuer le quotient de $\frac{e^2}{R}$, après avoir déterminé la différence de potentiel aux extrémités du conducteur, et la résistance totale de ce même conducteur.

Pour obtenir la puissance en kilogrammètres par seconde, il faut diviser par 9,81 chacun des nombres obtenus dans les opérations précédentes, exprimés en unités pratiques.

Mesureurs de puissance électrique. — Il existe quelques appareils qui donnent directement, par une simple lecture, la valeur du travail électrique par seconde qui s'y développe. Leur principe repose sur l'action réciproque de deux bobines placées dans des positions rectangulaires et donnant l'une l'intensité, l'autre la différence de potentiel. Une bobine est fixe, l'autre est mobile, la déviation de cette dernière mesure le produit des deux facteurs, c'est-à-dire le travail électrique par seconde.

En reliant la bobine mobile à un totalisateur, on obtient un compteur de travail par seconde ou *wattmètre*.

MM. Deprez, Boys, Kapp, etc., ont réalisé des compteurs de ce genre fort intéressants ; mais comme, dans la pratique des ateliers, pas plus que dans les installations d'éclairages électriques, on ne se sert de ces appareils, nous ne les mentionnons que pour mémoire, sans entrer dans aucun détail sur leur construction.

Rendement électrique d'une dynamo. — Le rendement électrique d'une dynamo s'évalue assez facilement; il suffit pour cela

de connaître la puissance électrique disponible aux bornes de la machine, l'intensité du courant et la résistance à chaud de l'induit et de l'inducteur.

La puissance dépensée dans ces deux organes est égale à I^2R, I étant l'intensité du courant et R la résistance à chaud des fils de l'inducteur ajoutée à celle des fils de l'induit prise aux balais.

Le rapport entre la puissance disponible et cette dernière augmentée de celle dépensée intérieurement dans les fils donne le rendement électrique de la dynamo.

Rendement industriel d'une dynamo. — Pour déterminer le rendement industriel d'une dynamo, il faut mesurer la puissance mécanique qu'elle absorbe, puis la puissance électrique disponible qu'elle produit, et comparer ces deux valeurs entre elles.

On se sert généralement d'un dynamomètre enregistreur, qu'on interpose entre le moteur et la dynamo pour mesurer la puissance mécanique dépensée, et des instruments que nous avons précédemment décrits, voltmètres ampèremètres et pont de Wheatstone, pour mesurer la puissance électrique aux bornes de la dynamo.

Si l'on désire des mesures purement mécaniques, on construit deux dynamos identiques et on relie leurs bornes par deux fils conducteurs; le courant de la première machine fait alors tourner la seconde qui produit ainsi du travail mécanique. On mesure la puissance absorbée par la dynamo génératrice au moyen d'un dynamomètre, comme précédemment, et la puissance disponible sur la dynamo réceptrice au moyen d'un frein de Prony. La différence entre ces deux quantités donne la perte subie dans les deux transformations : de mouvement en électricité et d'électricité en mouvement; et le rapport entre la puissance récupérée et la puissance absorbée par la dynamo génératrice indique le rendement industriel de la transmission électrique.

Ainsi, pour prendre un exemple, si le dynamomètre indique une dépense de 100 kilogrammètres par seconde, et le frein de Prony, une puissance disponible de 64 kilogrammètres par seconde, le rendement industriel de la double transformation sera

de 0,64. Chaque machine aura un rendement de 0,80, puisque leur emploi combiné donne $0,80 \times 0,80 = 0,64$ de la puissance totale dépensée.

Le rendement particulier de chaque dynamo est ainsi égal à la racine carrée du rendement de la transmission, la résistance du conducteur intermédiaire étant supposée nulle.

Pour vérifier ces opérations, il est nécessaire de changer de place les dynamos et de les employer alternativement comme génératrice et réceptrice en leur donnant des vitesses dont la moyenne corresponde approximativement à leur vitesse de régime normal :

Mesure du rendement industriel : méthode Hopkinson. — Pour éviter autant que possible les erreurs dans la détermination de la puissance mécanique transmise par la courroie aux dynamos à expérimenter, MM. J. et E. Hopkinson ont imaginé la méthode suivante.

Les deux machines, dont on veut déterminer le rendement industriel, sont accouplées directement par un manchon d'entraînement, de sorte que leurs arbres sont solidaires. Les circuits de ces deux machines sont en outre réunis ; c'est-à-dire que le courant de celle qui fonctionne comme génératrice est envoyé dans celle qui agit comme moteur. Le manchon d'accouplement sert de poulie motrice à laquelle une courroie transmet la puissance nécessaire pour maintenir le système en activité.

Un petit dynamomètre, intercalé entre la machine motrice et les dynamos, permet de déterminer la puissance transmise à la poulie, laquelle quantité correspond exactement à la puissance dissipée dans les deux machines et les connexions.

En mesurant ensuite la puissance électrique produite par le générateur, et la puissance électrique absorbée par le moteur, on peut immédiatement connaître le rendement industriel des dynamos soumises à l'expérience.

Mesure du rendement industriel sans dynamomètre ni frein de Prony. — L'usage du dynamomètre est assez délicat et donne souvent lieu à des mécomptes. Le ressort peut être faussé, le

totalisateur déréglé, la bande de papier rompue, les crayons mal placés, etc., etc... Nous avons fait de nombreuses expériences avec cet instrument et nous n'avons pas été une seule fois réellement satisfait des résultats obtenus.

Le frein de Prony, au contraire, est d'un usage très pratique et ses indications sont rigoureusement exactes; il exige cependant, pour la mesure de la puissance, l'emploi d'un bon compteur de tours, ce qui, pour les grandes vitesses, ne laisse pas que d'introduire quelquefois des erreurs dans les calculs. D'autre part, les instruments galvanométriques, voltmètres, ampèremètres, en usage dans les ateliers de construction, donnent rarement des indications précises; il est nécessaire, pour les expériences un peu importantes, de les vérifier chaque jour au moyen d'étalons ou en procédant à des opérations électrolytiques. Toutes ces considérations font qu'il est extrêmement difficile, sinon impossible, de connaître exactement le rendement industriel d'une dynamo à l'aide des procédés usuels.

Voici le moyen que nous avons trouvé pour remédier à ces multiples inconvénients :

Nous nous sommes procuré un voltmètre dont les indications étaient proportionnelles aux chutes de potentiel et restaient telles lors même que les déviations de l'aiguille ne représentaient plus exactement le nombre réel de volts au moment de la lecture. C'était le seul appareil qui mérità un sérieux examen dans nos expériences ; aussi en essayâmes-nous beaucoup avant d'en trouver un dont les déviations fussent rigoureusement proportionnelles.

Deux dynamos de construction identique étaient placées l'une derrière l'autre et reliées entre elles au moyen d'une courroie; la première recevait le courant d'une troisième dynamo actionnée par une machine à vapeur, et la seconde produisait un courant que nous fermions sur une résistance en fil de maillechort facilement réglable.

A l'aide d'un ampèremètre quelconque, que nous ne prenions même pas la peine de vérifier, nous réglions la résistance par laquelle on faisait passer le courant de la seconde machine, de telle sorte que l'intensité de ce courant et celle du courant qui

pénétrait dans la première machine fussent égales. Si, par exemple, l'intensité du courant aux bornes du moteur électrique (première machine) était de dix ampères (au cadran de l'ampèremètre), nous augmentions ou nous diminuions la résistance du fil de maillechort, jusqu'à ce que l'intensité du courant de la seconde machine marquât dix ampères sur le même appareil.

A ce moment, le rendement industriel des deux dynamos actionnées l'une par l'autre était proportionnel aux chutes de potentiel prises aux bornes de la première et aux bornes de la seconde. En désignant par :

I le nombre d'ampères entrant dans la première dynamo,

E le nombre de volts aux bornes de cette première dynamo,

I′ le nombre d'ampères recueilli à la sortie de la deuxième dynamo,

E′ le nombre de volts aux bornes de cette deuxième dynamo,

le rendement industriel pour les deux machines était :

$$K = \frac{I' E'}{I E}.$$

Comme I était égal à I′, on avait $K = \frac{E'}{E}$.

Nous amenions alors alternativement, par un simple jeu de commutateur, le courant entrant dans la première machine, puis le courant sortant de la deuxième machine, aux bornes de notre voltmètre, et les deux indications de l'aiguille nous donnaient immédiatement le rapport $\frac{E'}{E}$ cherché.

Cette méthode est rapide et simple; elle donne des résultats d'une précision mathématique, n'est sujette à aucune cause d'erreurs et n'exige l'emploi d'aucun appareil compliqué ni coûteux.

Elle ne fournit, d'ailleurs, que la valeur du rendement industriel et ne dispense pas des autres mesures d'intensité, résistance, chute de potentiel et puissance faisant l'objet du présent chapitre.

CHAPITRE VI

ARC VOLTAÏQUE

Lumière électrique. — Lorsqu'un conducteur très résistant est traversé par un courant électrique, dont on augmente graduellement l'intensité, il s'échauffe et passe par toutes les colorations, depuis le rouge sombre jusqu'au blanc éblouissant. Arrivé à cet état, si le courant augmente ou persiste pendant un certain temps, le conducteur fond ou se volatilise.

Pour appliquer cette propriété du courant électrique à l'éclairage, on met à profit soit l'*arc voltaïque*, formé par le passage du courant dans l'air porté à une haute température, soit l'*incandescence* d'un corps solide préparé à cet effet et mis dans le circuit d'un générateur électrique.

On peut encore obtenir de la lumière par l'électricité en envoyant un courant sous une force électromotrice considérable dans un tube contenant de l'air raréfié ; mais l'intensité lumineuse ainsi réalisée est insuffisante pour être admise dans la pratique.

Nous n'aurons donc à nous occuper que de l'éclairage par l'arc voltaïque et de l'éclairage par l'incandescence, qui ont aujourd'hui de très nombreuses applications et sont employés, soit séparément, soit simultanément, dans les mêmes installations.

Arc voltaïque. — La première expérience sur l'arc voltaïque date de 1808[1]. Elle fut faite par Humphry Davy, illustre chimiste

1. La date de 1813 donnée généralement dans les traités de physique est inexacte.

anglais, auquel on doit la découverte du sodium et du potassium. Davy, ayant pris deux baguettes de charbon taillées en pointe, les mit en contact et fit passer entre elles le courant d'une pile Volta de 2 000 éléments. En écartant les deux pointes d'une très petite quantité, il vit se produire entre elles une flamme légèrement convexe qui persista jusqu'à ce que la distance des charbons eût atteint 10 centimètres. En écartant davantage les charbons, il vit disparaître l'arc, et les pointes passèrent du blanc au rouge, et du rouge au noir, pour perdre ensuite, en très peu de temps, toute trace de la chaleur due au passage du courant. Les charbons furent rapprochés une seconde fois très lentement, et ne donnèrent lieu à aucun phénomène calorifique ni lumineux tant qu'ils ne furent pas en contact; lorsqu'ils se touchèrent, les pointes s'échauffèrent de nouveau, et la flamme jaillit instantanément au moment de leur écartement.

Cette flamme, qu'on pouvait reproduire autant de fois qu'on le désirait et qui persistait tant que les charbons conservaient leur distance, avait un éclat comparable à celui du soleil, une température si élevée que le platine y fondait comme du plomb et que le fer y brûlait en projetant des étincelles. Davy lui donna le nom, qu'elle a conservé depuis, d'*arc voltaïque*.

Examen du phénomène. — L'arc voltaïque résulte de l'incandescence d'un jet de particules détachées des électrodes et projetées dans toutes les directions. Cette projection, lorsqu'on fait usage de courants continus, a principalement lieu d'un pôle à l'autre, et plus particulièrement du pôle positif au pôle négatif. L'électrode positive a une température beaucoup plus élevée que l'autre, et, tandis que le charbon négatif est à peine rouge sombre à quelque distance de l'arc, le charbon positif est rouge blanc sur une assez grande longueur. L'usure de l'électrode positive, pour un temps déterminé, est double de celle de l'électrode négative. C'est cette différence dans l'usure et la température, observée dès le début par les physiciens, qui fit d'abord expliquer le phénomène de l'arc lumineux comme un simple transport de particules du pôle positif au pôle négatif. Aujourd'hui, il est bien démontré que, si le transport de l'électrode positive à l'élec-

trode négative prédomine dans l'arc, il n'en existe pas moins un transport très actif de l'électrode négative à l'électrode positive.

L'arc ressemble, en réalité, à une flamme tremblante, dont la forme est ovoïde avec des pointes de charbon. De temps en temps, on voit une particule brillante s'élancer d'une électrode à l'autre en produisant une traînée lumineuse.

Fig. 77. — Arc voltaïque.

Sur chacun des charbons apparaissent çà et là des globules liquides et incandescents *g*, *g'* (Fig. 77), provenant de substances minérales qui se déplacent, glissent jusqu'à la pointe et s'élancent pour gagner l'autre électrode.

Ces globules liquides n'apparaissent pas lorsque les charbons sont chimiquement purs.

Quand l'arc voltaïque se produit dans l'air, les deux tiges de charbon diminuent rapidement de volume parce qu'elles brûlent toutes deux; mais, dans le vide, cette combustion n'a pas lieu et l'on voit la pointe positive se creuser et diminuer de poids, tandis que la pointe négative s'allonge et augmente de volume. L'usure est presque nulle et ne résulte que des particules projetées par les deux charbons en dehors de leur action réciproque.

L'arc voltaïque est une portion du circuit électrique jouissant de toutes les propriétés des autres parties du même circuit. Les molécules entraînées constituent entre les deux pointes une chaîne mobile plus ou moins conductrice, et plus ou moins chauffée, suivant l'intensité du courant d'une part, la nature et l'éloignement des électrodes d'autre part. Les choses se passent exactement comme si les électrodes étaient réunies par un fil métallique ou une baguette de charbon de faible section, ce qui revient à dire que la lumière produite par l'arc voltaïque et celle

obtenue par incandescence proviennent de la même cause, qui est l'échauffement d'un corps résistant intercalé dans le circuit.

Matteucci a démontré cette parité entre l'arc voltaïque et les autres parties du circuit électrique en éloignant lentement deux cônes de fer mis préalablement en contact : un filet de métal liquide apparaissait d'abord, devenait lumineux, puis se brisait pour faire place à l'arc voltaïque.

Aspect de l'arc. — En examinant avec attention l'arc voltaïque produit entre deux pointes de charbon par des courants continus, on distingue nettement l'arc et la flamme.

L'arc est bleu; il joint les parties brillantes des deux charbons.

La flamme est rougeâtre ; elle enveloppe l'arc et lui donne souvent par son interposition une apparence violette. Cette flamme s'allonge parfois beaucoup et va lécher les parois du charbon positif à des distances relativement considérables; elle est changeante et mobile; elle contribue aux variations d'intensité lumineuse, et, dans certains cas, elle disparaît complètement. C'est alors surtout que l'arc se présente sous la couleur bleue très peu lumineuse qui lui est propre.

Avec des courants de 50 à 70 ampères, les plus intenses dont on fasse usage pratiquement pour alimenter un seul arc, l'aspect se modifie et présente quelques particularités moins connues. Au début, la flamme a une couleur pourpre aux environs du négatif; puis, quand les charbons sont taillés normalement, on distingue une bande bleue, étroite, sur la surface brillante du positif et une auréole rouge autour du négatif; la région moyenne de l'arc est blanche.

Quelle que soit au début la forme des baguettes de charbon, elles se taillent d'elles-mêmes pendant la marche; la pointe positive prend l'aspect d'un cône tronqué terminé par une surface concave; la pointe négative prend la forme d'un cône terminé par une pointe mousse. Ces formes sont d'autant plus régulières que les pointes sont bien vis-à-vis l'une de l'autre et que les charbons sont d'une fabrication soignée et exempts de corps étrangers.

L'arc se produit non seulement entre des pointes de charbon, mais entre toutes sortes de substances suffisamment conductrices. Son éclat dépend de l'intensité du courant, de la nature des électrodes et du milieu dans lequel il se produit. Avec du potassium ou du sodium, par exemple, la lumière est plus brillante qu'avec du platine ou de l'or ; dans l'air on a plus de lumière que dans les vapeurs mercurielles.

La couleur de l'arc varie avec la substance des électrodes : elle est jaune avec du sodium, blanche avec du zinc, verte avec de l'argent, etc.

L'aspect de l'arc dépend également de la forme des électrodes : entre une pointe de coke positive, et une plaque de platine négative, il présente la forme d'un cône; entre deux pointes de charbon, il a la forme d'un œuf, etc.

Longueur de l'arc. — Davy, avec ses 2000 couples zinc-cuivre de 2 décimètres carrés chacun, trouva que l'extinction avait lieu lorsque l'arc atteignait $0^m,11$ dans l'air, et $0^m,18$ dans le vide.

Despretz a fait, vers 1850, une série d'expériences sur l'arc voltaïque avec des piles, et il a trouvé : — 1° que la longueur de l'arc croît plus vite que le nombre des éléments employés à le produire; — 2° que cet accroissement est plus prononcé pour de petits arcs que pour des grands. Ainsi l'arc produit avec 100 éléments Bunsen est presque quadruple de celui produit par 50 éléments; celui résultant de 200 éléments n'est pas triple de celui obtenu avec 100. La pile de 600 éléments couplés en une seule série a donné jusqu'à $0^m,20$ d'arc lorsque le positif était en haut; — 3° que, lorsqu'on couple les éléments en quantité, la longueur de l'arc croît moins vite que le nombre des éléments. L'arc pour 100 éléments étant de $0^m,25$ n'est que de $0^m,069$ avec 600 éléments couplés en six séries de 100, tandis que, avec la même batterie de 600 éléments couplés en tension, il atteint $0^m,183$. En couplant successivement en quantité des séries de piles de 25 éléments en tension, on obtient, pour une seule série, un arc à peu près nul; pour deux séries, un arc encore trop petit pour être mesuré; pour trois séries, $0^m,001$; et pour vingt-quatre

séries, $0^m,0115$. Les mêmes piles couplées en tension, donnent un arc de $0^m,162$, c'est-à-dire un écart de charbons quatorze fois aussi grand qu'avec les vingt-quatre séries couplées en quantité; — 4° que, lorsque le pôle positif est en bas, l'arc voltaïque est moins long que lorsque c'est le pôle négatif qui occupe cette place. Avec six séries de 100 éléments couplés en quantité, on obtient $0^m,074$ d'écart lorsque l'électrode positive est en haut, et $0^m,056$ si elle est en bas; — 5° que lorsque les électrodes sont placées horizontalement, les arcs sont moins longs qu'avec des électrodes verticales, et qu'alors la pile de quantité devient plus avantageuse que celle de tension. Ainsi, six séries de 100 éléments couplées en quantité donnent un arc horizontal de $0^m,040$, et 600 éléments bout à bout ne donnent qu'un arc horizontal de $0^m,027$.

Ces expériences sont très instructives; il est toutefois regrettable que, au moment où M. Despretz opérait, les unités électriques fussent encore inconnues, car les résultats eussent pu être formulés plus simplement. Nous les publions sans rien y changer, en indiquant seulement que les éléments Bunsen en action avaient $0^m,16$ de hauteur.

Dans l'éclairage industriel, on emploie des courants de 2 à 50 ampères, et on entretient l'écart entre les pointes, au moyen de dispositifs et d'appareils dont nous parlerons plus loin, entre 1 et 10 millimètres, suivant l'intensité du courant.

Les arcs les plus en usage sont alimentés par 8 à 10 ampères et ont 3 millimètres de longueur.

Plus les charbons sont rapprochés, moins ils exigent de force électromotrice, mais plus il est difficile de les maintenir à un écart constant sans qu'ils viennent à se toucher fréquemment, ce qui produit une lumière irrégulière et relativement coûteuse.

Force électromotrice de l'arc. — Il résulte des travaux de MM. Edlund et Lang que, entre les charbons qui produisent l'arc, il existe une chute de potentiel variant entre 39 et 70 volts, suivant l'intensité des courants.

Cette chute de potentiel est représentée par une force élec-

tromotrice inverse qu'on peut estimer à 36 volts ; le reste est dû à la résistance de la couche gazeuse interposée, résistance variable avec la longueur de l'arc et sa température, et comprise généralement entre 0,5 et 1,5 ohm.

Si l'arc n'a qu'une faible longueur, 1/3 de millimètre par exemple, la différence de potentiel entre les deux charbons est de 39 volts, et elle est constante pour toutes les intensités de courant possibles ; si la longueur de l'arc augmente, la différence de potentiel croît proportionnellement à cette longueur, quelle que soit l'intensité du courant.

Température de l'arc. — L'arc voltaïque est le siège d'une température extrêmement élevée. Les corps réputés comme les plus réfractaires s'y consument avec une rapidité extraordinaire.

Il résulte des mesures prises par M. Rossetti que la température de l'arc serait de 4 800 degrés, celle du charbon positif de 4 000 degrés, et celle du charbon négatif de 3 000 degrés.

La haute température de l'arc a été mise à profit dans une nouvelle industrie appelée *métallurgie électrique,* qui a surtout pour objet la soudure des métaux : plomb, fer, fonte, cuivre, etc.

Le professeur Tyndall a fait, sur la chaleur développée par l'arc voltaïque, de très belles expériences publiques dans lesquelles, pour intéresser davantage son auditoire, il rendait invisibles les rayons émis par les pointes de charbon. Pour cela, M. Tyndall concentrait par réflexion, à la surface d'un petit miroir argenté, les rayons du foyer lumineux, et il interposait dans le cône de lumière convergente ainsi obtenu un vase en verre contenant une dissolution opaque d'iode. La lumière du cône se détruisait entièrement; mais les rayons subsistaient toujours et convergeaient vers un foyer invisible qui produisait les effets les plus curieux.

Quand on plaçait dans ce foyer un morceau de papier noir, il était percé par les rayons, comme s'il eût été traversé par une tige chauffée à blanc. Le papier s'enflammait instantanément.

Un morceau de charbon de bois, suspendu dans un récipient plein d'oxygène, prenait feu au foyer et brûlait avec l'éclat splendide que présente cette substance dans une atmosphère

d'oxygène. Les rayons invisibles, après avoir traversé le récipient, conservaient encore assez de force pour échauffer au rouge blanc.

Un mélange d'oxygène et d'hydrogène faisait explosion au foyer obscur par le simple échauffement de son enveloppe.

Une plaque mince de charbon, placée dans le vide, était portée à l'incandescence par les rayons invisibles.

M. Tyndall a obtenu des effets plus étonnants encore, mais dont la nomenclature complète nous entraînerait trop loin. Nous citerons seulement le plus caractéristique : avec une pile de puissance suffisante et une concentration convenable, il a chauffé à blanc une plaque de platine, et celle-ci, vue à travers un prisme, présentait un spectre brillant complet.

Sifflement de l'arc. — L'arc produit par des courants intenses fait entendre un sifflement assez bruyant. Niaudet, qui a particulièrement étudié le bruit de l'arc, a remarqué que le sifflement était accompagné d'une poussée de flamme bleue partant du charbon positif; il a également reconnu que, quand le sifflement cesse ou commence, la différence de potentiel entre les charbons fait un brusque saut. Avec des charbons de bonne qualité et des courants d'intensité moyenne ou faible, le bruit disparaît complètement.

D'après M. Gimé, le sifflement n'a pas pour conséquence une différence de potentiel ; il provient au contraire d'une brusque diminution dans la différence de potentiel de l'arc. Ayant à diriger une installation de régulateurs groupés en dérivation, à New York, M. Gimé a observé que, quand un seul foyer était en action, il ne faisait aucun bruit; que l'addition d'un second régulateur donnait naissance à un sifflement dans le premier; que l'addition d'un troisième régulateur produisait le même résultat dans les deux autres, mais avec moins d'intensité; et qu'enfin, au moment de l'allumage du dixième et dernier régulateur, tout sifflement avait disparu.

Propriétés chimiques de l'arc. — La lumière de l'arc a une grande analogie, quant aux effets produits, avec la lumière du soleil. Elle provoque la combinaison du chlore avec l'hydrogène;

elle colore le chlorure d'argent ; elle possède la propriété de rendre phosphorescents, c'est-à-dire lumineux dans l'obscurité, les corps qui le deviennent sous l'influence des rayons solaires. Ces précieuses propriétés ont été utilisées dans la photographie et dans diverses industries où l'on a besoin de distinguer les couleurs sous leur véritable nuance pendant le travail de nuit.

L'arc voltaïque dégage une assez grande quantité d'ozone, dont l'odeur est très caractéristique. Plusieurs hygiénistes considèrent cette production d'ozone comme un avantage en faveur de la lumière électrique, au point de vue de la santé publique.

Action des aimants et des courants sur l'arc. — Quand on présente à l'arc voltaïque un aimant en fer à cheval d'une certaine puissance, on voit l'arc attiré ou repoussé, suivant l'orientation de l'aimant, par rapport à la verticale que suit le courant. Si on avance les branches de l'aimant de manière à entourer l'arc, l'action attractive ou répulsive persiste avec son sens aussi loin qu'on peut pousser l'aimant, ce qui s'explique par ce fait que le champ magnétique a la même orientation d'un bout à l'autre entre les deux branches. L'action de l'aimant peut être assez énergique pour rompre l'arc.

Les mêmes phénomènes d'attraction et de répulsion sont encore plus marqués avec un électro-aimant. Ils se produisent également lorsqu'on présente à l'arc un courant ou une série de courants parallèles.

Dès 1850, Despretz avait constaté l'influence du magnétisme terrestre sur la longueur d'un arc orienté perpendiculairement au méridien.

Baguettes de charbon de cornue. — Dans ses expériences sur l'arc voltaïque, Davy se servait de baguettes de charbon de bois éteint dans l'eau ou dans le mercure. Ces baguettes brûlaient avec un bel éclat et d'une manière très régulière ; mais elles s'usaient si rapidement que leur emploi était forcément limité aux expériences de laboratoire. En remplaçant le charbon de bois par les dépôts recueillis sur les parois des cornues à gaz, Foucault ouvrit réellement à l'arc voltaïque l'ère des applications

utiles. Le charbon de cornue est en effet beaucoup plus dense que le charbon de bois et résiste bien plus longtemps à l'action destructive du foyer électrique.

Il faut cependant ajouter que ce charbon présente encore de sérieux inconvénients; sa composition n'est pas uniforme; il éclate parfois, s'use souvent irrégulièrement et produit des variations d'éclat assez considérables. Les variations d'éclat tiennent surtout à la présence de matières étrangères, telles que des sels alcalins ou terreux, et aussi de quantités notables de silice; ces matières, beaucoup moins fixes que le charbon, se vaporisent et forment, pour une grande partie, la flamme qui entoure l'arc.

Malgré ces inconvénients, ce charbon peut donner un éclairage satisfaisant quand on a soin de choisir convenablement sa qualité.

Les dépôts qu'on recueille dans les cornues ont généralement plusieurs décimètres de longueur et quelques centimètres d'épaisseur. Les baguettes se débitent à la scie et se dressent à la meule. Elles sont carrées et ont environ vingt centimètres de longueur sur un centimètre de côté.

On a cherché à purifier le charbon de cornue en plaçant des baguettes, préalablement taillées, dans un bain de potasse ou de soude caustique porté au rouge. Cette opération avait pour but de changer en silicate de potasse ou de soude soluble la silice contenue dans les charbons et si funeste à la constance de la lumière. Les baguettes de charbon étaient ensuite lavées à l'eau bouillante, puis soumises (dans un tube de porcelaine ou de terre réfractaire chauffé au rouge), pendant plusieurs heures, à l'action d'un courant de chlore dont la propriété était de faire passer les différentes terres, que la potasse ou la soude n'avait pas attaquées, à l'état de chlorures volatils de silicium, de potassium, de fer, etc.

Ainsi épurés, ces charbons donnaient une lumière un peu plus régulière; mais ils produisaient encore beaucoup de cendres et de flammèches.

Charbon de cornue artificiel. — M. Jacquelain a cherché à

reproduire les circonstances qui, pendant la fabrication du gaz, donnent naissance au charbon de cornue. Ces circonstances sont l'arrivée au contact des parois incandescentes des cornues de matières hydrocarburées très denses, dont une partie se volatilise et dont le reste se décompose en laissant pour résidu une couche de charbon. Dans les cornues des usines à gaz, ces matières hydrocarburées entraînent avec elles un grand nombre d'impuretés que contient la houille. En prenant des goudrons provenant d'une véritable distillation, débarrassés, par conséquent, de toutes les impuretés non volatiles, et en réalisant dans des appareils spéciaux ces conditions de décomposition au contact de parois fortement échauffées, on devait reproduire le charbon des cornues, mais jouissant d'une pureté parfaite. C'est ce qu'a fait M. Jacquelain en opérant, avec un tube de terre réfractaire de $0^m,15$ de diamètre, dans un fourneau improvisé ; et il a obtenu des plaques qui, débitées en baguettes à la scie, ont donné une lumière parfaitement tranquille, plus blanche, et d'environ 25 pour 100 plus intense, à courant électrique égal, que celle donnée par les charbons ordinaires.

Ces charbons, une fois formés, avaient l'inconvénient d'exiger un travail considérable de main-d'œuvre pour être utilisés (car la matière était si dure qu'on ne parvenait à la scier que très difficilement), et de produire des déchets relativement considérables.

Charbon aggloméré et passé à la filière. — C'est à MM. Carré et Gauduin que sont dus les procédés dont on se sert actuellement en Europe pour fabriquer les baguettes de charbon destinées à l'éclairage par arc voltaïque.

Ces procédés consistent à préparer une pâte convenable, à la triturer, à la comprimer, puis à la passer dans une filière, de manière à obtenir des baguettes cylindriques qu'on coupe à la longueur voulue, et à cuire ces baguettes dans un four analogue à ceux employés au traitement des pâtes céramiques.

La composition de la pâte a une grande importance : M. Carré employait un mélange de 50 parties de coke très pur en poudre, 20 parties de noir de fumée calciné et 30 parties d'un

sirop spécial dans lequel entraient du sucre de canne et de la gomme. M. Gauduin décomposait en vases clos des brais secs, ce qui lui donnait un charbon compact qu'il pulvérisait ensuite de manière à le réduire en une poudre impalpable; cette poudre était finalement agglomérée au moyen des carbures d'hydrogène obtenus dans la distillation des brais.

On se sert aujourd'hui, pour former la pâte des crayons électriques, de charbon de cornue pulvérisé, ou de coke de pétrole également pulvérisé et aggloméré avec du goudron de gaz. La qualité du produit dépend surtout du broyage intime des substances employées et de leur cuisson.

La presse à comprimer est terminée par une filière qui donne au crayon sa forme cylindrique et qui permet de le fabriquer en longueurs quelconques. La cuisson s'opère dans des fours à plusieurs étages; elle comprend une série d'opérations qui diffèrent un peu dans chaque fabrication. Voici le mode de procéder indiqué par M. Carré :

Les charbons sont d'abord placés horizontalement dans le creuset en fonte, sur une couche de poussière de coke; chaque lit est séparé par une feuille de papier pour éviter toute adhérence. Entre la dernière couche et le couvercle on met 1 centimètre de sable de coke, et 1 centimètre de sable siliceux sur le joint du couvercle.

Après la première opération, qui doit durer de quatre à cinq heures au moins et atteindre le rouge cerise, les charbons doivent rester deux ou trois heures dans un sirop très concentré et bouillant de sucre de canne ou de caramel, avec deux ou trois intervalles de refroidissement notable afin que la pression atmosphérique le fasse pénétrer dans tous les pores. On laisse ensuite les charbons égoutter en ouvrant un robinet placé au bas du vase, puis on les agite quelques instants dans l'eau bouillante pour dissoudre le sucre resté à la surface.

Après dessiccation, on soumet les charbons à une seconde cuisson au 2e étage; on peut alors les mettre debout dans le creuset, en remplissant leurs interstices avec du sable.

On les traite de même en les descendant d'un étage à chaque cuisson jusqu'à ce qu'ils aient acquis la densité et la solidité

requises, et en se servant d'un four ayant autant d'étages qu'on désire de cuissons.

Les charbons sont séchés lentement. On termine leur dessiccation dans une étuve dont la température atteint graduellement 80 degrés en douze ou quinze heures. Pour ne pas se déformer, en séchant, les baguettes sont placées dans des tôles ayant la forme d'un V.

Plusieurs fabricants ont simplifié ces opérations; mais le système est resté le même : cuire les crayons en plusieurs fois et les nourrir de carbone pur entre chaque cuisson.

En Amérique, on emploie du coke de pétrole et, au lieu de comprimer les crayons dans une presse à filières, on les comprime dans des châssis plats.

Charbons à mèche. — Dans le but de maintenir le foyer lumineux au milieu du charbon, ce qui augmente la fixité et la régularité de la flamme, on fait venir un trou central à la filière, puis on remplit ce trou avec une substance appelée *mèche*, plus conductrice de l'électricité que le carbone.

Les crayons ainsi constitués donnent d'excellents résultats. Ils s'emploient au pôle positif seulement; les crayons pleins sont moins coûteux et conviennent mieux pour le pôle négatif.

Charbons cuivrés. — Le cuivrage des crayons électriques augmente leur durée et leur conductibilité, ce qui permet de les employer en plus longs morceaux que nus. Ces deux avantages concourent donc au même but qui est de changer les crayons d'un appareil à arc le moins souvent possible.

Ce cuivrage s'obtient par l'électrolyse; il coûte fort peu.

L'usage des crayons cuivrés s'est beaucoup répandu aux États-Unis, surtout dans l'éclairage des voies publiques. En Europe, on se sert presque exclusivement de crayons nus parce que leur lumière est plus régulière au double point de vue de la fixité et de la couleur.

On a également proposé de nickeler les crayons électriques; mais, malgré le succès des premières expériences de laboratoire, l'industrie n'a pas adopté ce genre de couverture, qui,

comme le cuivrage, produit des variations désagréables dans le foyer lumineux.

Régulateurs de lumière électrique. — Les premières expériences sur l'arc voltaïque furent faites à l'aide d'un petit appareil à porte-charbons mobiles qu'on manœuvrait à la main pour amener les pointes en contact, pour les éloigner ensuite d'une quantité déterminée et pour leur conserver sensiblement le même écart pendant toute la durée de l'expérience. Ce mode de procéder n'était guère pratique; mais, comme les crayons s'usaient en peu de temps, et que la pile se polarisait rapidement, il parut inutile d'en chercher d'autres.

Plus tard, quand on eut des piles à débit constant et des charbons très durs, on imagina plusieurs systèmes pour opérer automatiquement le rapprochement des charbons :

1° On proposa, à cet effet, de se servir de corps extrêmement réfractaires qui arrêtaient les pointes, sans se fondre ni se volatiliser dans l'arc; mais l'expérience démontra que ce moyen était seulement applicable à de très faibles courants et qu'il exigeait le fréquent remplacement des corps réfractaires (il existe encore quelques appareils assez intéressants basés sur ce principe);

2° On construisit des lampes électriques à mouvement d'horlogerie; ces mouvements se mettaient en marche dès que le courant les traversait, et ils étaient réglés de manière à rapprocher les charbons pour en compenser exactement l'usure. Les inconvénients de ce système étaient d'exiger un réglage des lampes pour chaque qualité de charbon et pour chaque intensité de courant, de s'arrêter brusquement et complètement si une baguette de charbon venait à se briser, de ne pas changer d'allure avec la résistance propre des crayons, qui est plus grande à l'allumage qu'au moment de l'extinction, etc. ;

3° On fit des appareils équilibrés, basés sur la perte de poids des crayons, dont il est superflu d'indiquer les causes d'insuccès;

4° On plaça des baguettes de charbon dans des plans perpendiculaires, de sorte que la longueur de l'arc restait toujours

égale à l'écartement des deux plans. Dans le même ordre d'idées, on construisit des régulateurs au moyen de quatre baguettes qui maintenaient en s'usant une distance géométrique constante entre chaque paire de baguettes. Ces diverses combinaisons eurent, à leur naissance, un certain succès de curiosité; mais elles n'ont donné lieu à aucune installation définitive;

5° On se servit de la température de l'arc, qui décroît à mesure qu'on s'éloigne du centre du foyer, pour actionner un mécanisme spécial ou pour fondre une substance retardant l'avancement de deux charbons sollicités à se rapprocher par un poids ou un ressort. Les appareils construits sur ce principe ne donnèrent pas de résultats satisfaisants ;

6° On disposa deux porte-charbons verticalement l'un au-dessous de l'autre avec un électro-aimant dans le circuit. Cet électro-aimant, toutes les minutes, soulevait rapidement le charbon supérieur d'une même quantité, quelle que fût d'ailleurs la position du charbon dans l'espace. L'arc voltaïque se maintenait, pendant une minute, sans changer sensiblement de longueur ; un déclic, obtenu par un mouvement d'horlogerie, faisait tomber le charbon supérieur sur l'autre, et, au moment précis du contact des deux pointes, l'électro-aimant les éloignait brusquement. Cette disposition, bien réalisée, ne donne pas lieu à de grands inconvénients ; on ne voit pas les mouvements de descente et de recul, tant ils sont rapides, et l'intensité lumineuse paraît constante; mais, le système dont nous allons parler étant en réalité plus simple et plus précis, il a condamné successivement tous les autres à l'oubli ;

7° Le dernier moyen de régler la longueur de l'arc est un des plus anciens qu'on ait proposés. Si nous n'en parlons qu'à la fin de cette nomenclature, c'est parce qu'il est le seul dont nous aurons à nous occuper lorsque nous décrirons les appareils pratiques. Il mérite, dès lors, d'être présenté avec plus de développements que les précédents et de rester mieux gravé dans la mémoire.

Ce régulateur repose sur le principe que voici :

L'arc, faisant partie du circuit électrique, ne peut changer de longueur et, par suite, de résistance sans influencer l'intensité

du courant. Quand les charbons s'usent, l'arc a une résistance plus grande, et le courant, une intensité plus petite. Ce changement d'intensité peut être mis à profit pour maintenir les pointes des charbons à un écartement sinon constant, du moins dans des limites de constance aussi étroites que possible. Il suffit, pour cela, d'intercaler dans le circuit un électro-aimant dont l'armature est sollicitée, d'un côté, par l'action magnétique, de l'autre, par un ressort. Quand le courant diminue d'intensité, l'action magnétique diminue, et l'armature se meut sous l'influence prépondérante du ressort antagoniste ; on utilise ce mouvement de l'armature comme moteur, ou, plus simplement, au déclenchage d'un mécanisme, pour rapprocher les porte-charbons.

L'application de ce principe très ingénieux et très pratique a été l'objet d'une foule de combinaisons cinématiques, sur quelques-unes desquelles nous appellerons l'attention du lecteur lorsque sous décrirons les régulateurs employés dans les installations industrielles. Tous les régulateurs qu'une pratique courante a consacrés remplissent les deux conditions suivantes : — 1° ils éloignent les charbons pour donner naissance à l'arc, au début de l'éclairage et chaque fois que, pour une cause quelconque, les pointes viennent à se toucher pendant la marche. Ce recul est obtenu, soit à l'aide d'un électro-aimant spécial, soit à l'aide d'un électro-aimant de rapprochement ; — 2° ils maintiennent les pointes à une distance bien régulière pendant toute la durée de l'éclairage. Ce réglage est produit par l'intensité, par la différence de potentiel ou par l'action différentielle de l'intensité et de la chute de potentiel du courant électrique aux bornes du régulateur.

Bougies électriques. — Les bougies électriques, dont l'invention est récente, ont pour objet l'utilisation de l'arc voltaïque à l'éclairage sans le secours de régulateurs ; elles se composent de deux baguettes en charbon disposées parallèlement, et d'une lame de substance isolante placée entre les crayons, le tout réuni en un seul faisceau.

Les charbons brûlent sous l'action du courant et ne nécessitent aucun mécanisme pour l'allumage et le réglage. La longueur

de l'arc dépend uniquement de la distance des baguettes, et l'allumage s'opère au moyen d'amorces conductrices placées au sommet des pointes lors de la fabrication.

Par extension, on appelle également « bougies électriques » de véritables régulateurs à charbons parallèles avec organe magnétique pour la formation de l'arc ou le maintien de la flamme aux pointes des crayons.

M. Joubert, qui a fait une série d'expériences sur les bougies Jablochkoff, a constaté qu'elles s'éteignaient lorsque l'intensité du courant tombait au-dessous de 5 ampères, et que les charbons rougissaient sur toute leur longueur lorsqu'elle atteignait 11 ampères. Entre ces limites, la différence de potentiel aux deux pointes des charbons est sensiblement constante et égale à 45 volts environ.

Cette différence de potentiel étant indépendante de l'intensité, est occasionnée, non par la résistance, d'ailleurs très faible, de l'arc, mais par une véritable force contre-électromotrice développée par une polarisation des électrodes, et provient du transport de matière qui s'opère constamment d'un pôle à l'autre.

CHAPITRE VII

INCANDESCENCE

Lumière par incandescence. — La lumière par incandescence est produite par l'échauffement d'un corps réfractaire de grande résistance électrique traversé par un courant.

La loi de Joule peut s'exprimer par la formule suivante, qui donne la quantité de chaleur dégagée par le passage d'un courant dans un conducteur quelconque pendant un temps donné :

$$H = \frac{RI^2 t}{gA} = \frac{RI^2 t}{4160} \text{ calories,}$$

formule dans laquelle :

H est la quantité de chaleur produite;
R la résistance du conducteur en ohms;
I l'intensité du courant en ampères ;
t le temps de passage du courant en secondes;
A l'équivalent mécanique de la chaleur;
g l'accélération due à la pesanteur.

Un exemple fixera immédiatement les idées sur les résultats obtenus par l'échauffement d'un conducteur très résistant faisant partie d'un circuit électrique.

Nous supposerons qu'une tige en charbon AB, amincie entre c et d (Fig. 78), est traversée par un courant de 2 ampères, et nous admettrons que la partie cd a une résistance de 25 ohms.

La chaleur dégagée par le courant entre c et d pendant une heure sera $H = \frac{25 \times 2^2 \times 3600}{4160} = 86,5$ calories.

On comprend aisément que cette dépense de calorique, qui

suffirait pour élever jusqu'à l'ébullition 1 litre d'eau pris à 13°, 5, puisse porter et entretenir la baguette de charbon *cd* à une haute température, et que l'élévation de cette température dépende uniquement du volume du fragment considéré, la résistance donnée, 25 ohms, pouvant aussi bien être celle d'une baguette de charbon ayant 50 centimètres de longueur sur 10 millimètres carrés de section que celle d'un filament de même substance ayant 5 centimètres de longueur et 1 millimètre carré de section. Dans le premier cas, *cd* serait si peu chaud que sa couleur resterait d'un rouge sombre ; tandis que, dans le second, il serait d'une blancheur éclatante.

Fig. 78. — Tige incandescente.

Tout le problème de l'éclairage électrique par incandescence consiste donc à établir, sur le circuit, des conducteurs très minces offrant une grande résistance au courant et appropriés de telle sorte qu'ils puissent subir l'action d'une température extrêmement élevée sans se désagréger rapidement.

Du rôle de la température dans l'incandescence. — Vers 500 degrés[1], les corps solides commencent à émettre de la lumière rouge, et, à mesure que la température augmente, le spectre devient de plus en plus complet, la lumière de plus en plus blanche.

A partir du moment où la lumière apparaît, son intensité croît beaucoup plus rapidement que l'élévation de la température : entre un filament chauffé au rouge cerise et le même filament porté au blanc soudant, on constate, par exemple, un rapport de 1 à 40 dans les intensités lumineuses, tandis que la température ne s'est élevée que de 1 900 à 2 600 degrés C.

M. E. Becquerel a expérimenté l'influence de la température sur l'éclat d'une lame de platine, et il a obtenu les résultats sui-

1. Il résulte de récents travaux de M. Weber que, contrairement à ce qu'on croyait jusqu'à présent, les corps produisent des radiations lumineuses avant d'être portés à l'incandescence. Le spectre de ces lueurs brumeuses et grises, qui précèdent la lumière claire, consiste en une bande homogène d'un gris brun, se développant également des deux côtés lorsqu'on augmente la température.

M. Weber a également constaté que la température minima, à laquelle les corps émettent une radiation visible, varie avec les diverses substances. Pour l'or, cette température est de 417° C., pour le fer de 377° C., et pour le platine de 390° C.

vants, en partant du nombre 1 000 pour l'intensité lumineuse mesurée lorsque le platine atteignait 916 degrés, c'est-à-dire la température qui correspond au point de fusion de l'argent :

Degrés centigrades.	Intensité lumineuse.	Degrés centigrades.	Intensité lumineuse.
—	—	—	—
500	0	916 fusion de l'argent	1 000
600	3	1 000	4 374
700	21	1 037 fusion de l'or	8 388
800	129	1 100	25 410
900	752	1 157 fusion du cuivre	69 264
		1 200	146 920

M. Becquerel n'a pas poussé son expérience au-dessus de 1 200 degrés; mais ce qui précède suffit pour montrer le rôle prépondérant de la température dans les phénomènes lumineux.

Nature des conducteurs incandescents. — On s'est d'abord servi de platine pour les lampes à incandescence, puis de charbon. C'est l'emploi de ce dernier corps qui a seul prévalu; c'est même grâce à lui que les applications du nouveau système se sont récemment multipliées dans tous les pays. Les avantages du charbon sur le platine sont d'ailleurs faciles à établir.

Le charbon est infusible, tandis que le platine fond aisément s'il est réduit en fil fin; le charbon possède une plus grande résistance spécifique que le platine, et, par suite, pour un même courant et à dimensions égales, retient au passage une plus grande quantité de chaleur; la chaleur spécifique du charbon est moindre que celle du platine, de sorte qu'une même quantité de calories l'élèvera à une plus haute température; enfin, à température égale, le charbon présente un pouvoir rayonnant supérieur à celui du platine.

On a essayé l'iridium à la place du platine ; mais les résultats n'ont pas été plus favorables.

Les charbons employés dans les lampes de fabrication courante proviennent presque exclusivement de fibres végétales calcinées; ils se composent de carbone plus ou moins pur, sous forme de coke ou de graphite cristallisé.

La préparation varie peu : on commence par donner aux fibres les dimensions et les formes convenables; on les met

ensuite dans des moufles remplies de poussier de charbon, qu'on installe par centaines dans une étuve fortement chauffée, et on les laisse dans cette étuve jusqu'à complète carbonisation. Le filament ainsi obtenu est très tenace et très élastique. Sa combustibilité est extrêmement faible ; il résiste à la flamme d'un bec de gaz de Bunsen et même à celle d'un chalumeau à air. Il faut, pour le brûler, les températures élevées provenant d'un courant électrique.

M. Aron, qui a étudié particulièrement cette question de combustibilité, a remarqué que du papier, de la ouate même, devenaient, après calcination, presque incombustibles. Il considère qu'il y a dans la carbonisation trois phases distinctes : dans la première, les substances végétales restent facilement inflammables, mais ne conduisent pas l'électricité ; dans la seconde, qui correspond à une température plus élevée, elles deviennent conductrices, mais restent encore incombustibles ; enfin, dans la troisième, alors que la température est encore plus élevée, elles restent conductrices, mais deviennent difficilement combustibles. Elles sont, dans cette dernière phase, complètement graphitées.

En graphitant le noir de fumée, on obtient une substance qui se comporte comme le graphite, sans en avoir la structure cristalline.

Tout récemment, M. H.-N. Warren est parvenu à produire un charbon graphitoïdal en faisant passer une série d'étincelles électriques dans un jet de gaz d'éclairage, et ce charbon s'est très bien comporté dans une lampe à incandescence.

Nature du milieu. — Les phénomènes lumineux dus au passage du courant à travers un conducteur très résistant peuvent s'obtenir à l'air libre, dans une atmosphère inerte, c'est-à-dire non comburante, ou bien encore dans le vide.

A l'air libre, le charbon incandescent brûle rapidement, ce qui nécessite l'emploi de baguettes assez grosses et assez longues, si l'on veut fonctionner pendant quelques heures sans les renouveler. Cette combustion rapide a été l'obstacle contre lequel sont venues échouer toutes les combinaisons d'appareils ayant pour but d'utiliser l'incandescence avec des charbons mobiles.

L'emploi de petites baguettes, placées dans une atmosphère inerte et chauffées électriquement, présente de grands avantages sur la solution précédente, sans être pour cela bien pratique. On peut obtenir une atmosphère inerte assez facilement en fermant hermétiquement la cloche en verre contenant le conducteur incandescent, et en brûlant d'abord une certaine quantité de charbon pour absorber tout l'oxygène renfermé dans l'air de la cloche. Les baguettes portées à l'incandescence se conservent assez longtemps; mais les particules de charbon brûlé préalablement noircissent les parois intérieures de la cloche, ce qui absorbe une notable partie de la lumière émise ultérieurement.

Les lampes ainsi constituées sont assez compliquées et n'ont d'ailleurs aucune raison d'être depuis qu'on a trouvé le moyen de faire un vide presque parfait dans les récipients de verre.

Les lampes à vide, ayant leur charbon disposé dans de petites ampoules en verre avec deux fils extérieurs pour les mettre en communication avec le courant, sont incontestablement les meilleures, surtout lorsque le vide a été bien fait et que les ampoules ont été fermées à la lampe d'émailleur au moment même où l'opération de la raréfaction était terminée.

Il n'existe plus de lampes à incandescence fonctionnant à l'air libre; très peu fonctionnent dans l'azote ou dans dans tout autre gaz inerte; les lampes à vide sont, au contraire, extrêmement répandues, et leur succès va toujours en croissant.

Couleur de la lumière par incandescence. — La lumière des filaments de carbone est riche en rayons rouges et jaunes, et très pauvre en rayons bleus et violets. Elle paraît, pour cette raison, jaune rougeâtre, moins rouge cependant que la lumière du gaz, mais sensiblement plus rouge que la lumière de l'arc.

En se servant d'un prisme Nicol pour comparer diverses lumières artificielles à la lumière solaire, M. Meyer a trouvé que, lorsqu'on réduisait suffisamment l'émission de la lumière solaire, pour que l'intensité de la lumière jaune fût la même dans tous les cas, on obtenait, pour les spectres des divers éclairages, les quantités suivantes :

	Soleil.	Arc.	Incandescence.	Gaz.
	—	—	—	—
Rouge	1,00	2,09	1,48	4,07
Jaune	1,00	1,00	1,00	1,00
Vert	1,00	0,99	0,62	0,47
Bleu	1,00	0,87	0,21	0,23
Violet	1,00	1,03	0,17	0,15
Violet extrême	1,00	1,21	»	»

Dimensions des filaments.— La section des filaments est très variable dans chaque fabrication ; elle dépend de la résistance propre de la substance carbonisée et de l'intensité lumineuse qu'on veut obtenir avec un courant d'une intensité donnée. La longueur est en relation directe avec la chute de potentiel aux bornes; elle est calculée pour donner au filament une surface rayonnante suffisante. La section ronde paraît préférable à la section carrée parce qu'elle présente une résistance plus grande à égalité de surface extérieure.

Dans les lampes Edison, les filaments ont une section de trois dixièmes de millimètre sur un dixième de millimètre, et une longueur développée de $0^m,125$ pour les lampes de 16 bougies et de $0^m,110$ pour celles de 10 bougies.

Dans les lampes Maxim de 16 bougies, la section est de cinq dixièmes de millimètre sur un millimètre, et la longueur développée est de $0^m,113$.

Dans les lampes Siemens, les filaments ont un diamètre variant de $0^m,00015$ à $0^m,00027$ et une longueur de $0^m,110$ pour les lampes de 10 bougies, $0^m,125$ pour les lampes de 16 bougies et $0^m,145$ pour les lampes de 25 bougies.

On peut, pour la même intensité lumineuse, faire varier la section et la longueur des filaments, en laissant constante la surface de rayonnement.

Les charbons minces et longs sont plus sujets que les autres à une rupture provenant de secousses pendant le transport ou de chocs internes pendant la marche.

Un gros filament supporte généralement un échauffement relatif plus considérable qu'un filament délié.

Au point de vue de l'économie des conducteurs, les lampes ayant besoin d'une faible intensité de courant pour une intensité

lumineuse donnée sont préférables à celles qui exigent plus de courant et moins de chute de potentiel ; car, à un courant double correspond un conducteur de section quadruple pour la même déperdition.

Radiations lumineuses et radiations obscures. — Dans une conférence faite, en 1885, à la Société électrotechnique de Berlin, M. Wilhelm Siemens a développé diverses considérations théoriques qu'il nous paraît utile de résumer en ce qui concerne le travail effectué par le courant et la nature des surfaces rayonnantes.

Le travail par seconde effectué par le courant dans le filament est égal à EI, ou à I^2 R, ou enfin à $\frac{E^2}{R}$.

Le rayonnement qui équilibre ce travail par seconde est proportionnel à la surface du filament.

A un centimètre carré de cette surface, correspond toujours la même intensité lumineuse, étant donnés l'emploi de mêmes substances, le même état moléculaire et la même température, soit que ce centimètre carré appartienne à un fil fin et long, soit qu'il appartienne à un fil gros et court.

Au point de vue de la beauté de l'éclairage, il est utile de faire brûler toutes les lampes à la même couleur ; cette condition, pour des charbons de même substance et de mêmes dimensions, dépend de l'égalité de leur température.

Le rayonnement est constitué par un mouvement de l'éther ; la qualité d'un rayon résulte de la longueur de l'onde et de la durée de l'oscillation, tandis que son intensité dépend de l'amplitude de cette oscillation. Les rayons calorifiques, obscurs ou lumineux, se distinguent par leur durée d'oscillation ; le maximum d'action calorifique reste dans les rayons obscurs. La qualité d'un rayon dépend uniquement de la température.

La température exerce une double influence sur la condition du rayonnement ; elle augmente l'intensité de chaque rayon pris isolément, et son accroissement ajoute aux rayons précédents de nouveaux rayons de moindre longueur d'onde et de plus grande réfrangibilité. Par suite, un corps porté à l'incandescence blanche contient plus de rayons rouges que lorsqu'il est à l'incandescence rouge.

D'après Dulong et Petit, le rayonnement R, la température t et le pouvoir émissif M de la surface du corps qui rayonne, sont reliés par la formule $R = M a^t$, dans laquelle a est une constante. Il en résulte que, plus M et t sont considérables, plus le rayonnement total, qui est en outre proportionnel à la surface du corps éclairant, est grand.

Le rapport des radiations lumineuses aux radiations obscures varie avec M et t. L'élévation de la température est, à ce point de vue, de la plus haute importance, puisqu'elle apporte sans cesse aux premiers rayons obtenus de nouveaux rayons à ondes courtes. C'est ce qui explique ce phénomène que, dans l'éclairage par incandescence, plus la température du filament est élevée, plus on obtient de lumière pour une dépense de travail donnée.

L'état des surfaces des filaments a également une grande influence sur le rendement des lampes. Un charbon noir et fuligineux émet plus de chaleur qu'un charbon dense et gris porté à la même température. Le premier exige donc une plus grande dépense d'énergie que le second, pour être maintenu à la même température.

Rendement optique des lampes à incandescence. — Le rendement optique d'une lampe est le rapport entre la quantité d'énergie correspondant aux radiations lumineuses émises et l'énergie totale consommée par la lampe.

M. Blattner a fait sur le rendement de diverses lampes à incandescence d'intéressantes expériences, d'où il résulte que ce rendement n'atteint pas 10 pour 100 dans les appareils les plus perfectionnés.

Pour mesurer la quantité totale de chaleur consommée, M. Blattner plaçait la lampe dans un calorimètre, à parois de cuivre minces et noircies, rempli d'eau. La lampe était entourée d'une couche d'eau de 3 centimètres au moins. Il lui suffisait, connaissant exactement le volume d'eau, de mesurer la température avant et après l'opération, pour connaître la chaleur totale émise.

Cela fait, il remplaçait le calorimètre en cuivre par un calorimètre en verre mince de manière à ce que l'eau n'absorbât que la chaleur provenant des radiations obscures. La différence

entre les deux nombres donnait la chaleur dépensée en radiations lumineuses.

Le travail électrique par seconde consommé par la lampe était déterminé par la mesure de la différence de potentiel aux bornes de la lampe et par celle de l'intensité du courant. On pouvait ainsi calculer l'équivalent mécanique de la chaleur. La concordance entre le résultat de ce calcul et le nombre 424 montrait le degré d'exactitude de la méthode suivie dans les expériences.

M. Blattner a trouvé que le rendement optique des lampes à incandescence, amenées à leur intensité normale, était en moyenne de 5 pour 100, et qu'il atteignait 9 pour 100 lorsqu'on poussait les lampes au double de leur intensité normale.

Ce rendement dépend, bien entendu, de la constitution et de la préparation des filaments; il dépend également de la surface que présente le filament, eu égard à sa résistance. C'est ainsi qu'une lampe Bernstein à filament creux a un rendement supérieur à celui d'une lampe Swan à filament plein. Cependant, l'écart entre les lampes les plus avantageuses et les lampes les moins économiques à cet égard n'est pas considérable; M. Blattner a, en effet, trouvé 6 pour 100 pour les premières et 4 pour 100 pour les autres.

Le professeur Tyndall a fait des recherches curieuses sur le même sujet en se servant d'une dissolution d'iode dans le sulfure de carbone, laquelle solution a la propriété d'absorber les rayons lumineux et de laisser passer les rayons obscurs. Il a trouvé que les rayons lumineux représentaient 3 pour 100 du rayonnement total d'une flamme à l'huile, 4 pour 100 d'une flamme à gaz, 4,6 pour 100 de l'incandescence d'un filament et 10 pour 100 de la lumière de l'arc voltaïque.

Il résulte de là que, dans la lumière artificielle la plus avantageuse, la partie inutile du rayonnement absorbe les quatre-vingt-dix centièmes de la puissance électrique totale EI pour produire des radiations calorifiques obscures.

Intensité lumineuse des lampes à incandescence. — Cette intensité varie actuellement entre 1 et 1 000 bougies, ce qui permet à l'éclairage par incandescence de satisfaire à tous les besoins domestiques et industriels en tant que puissance de

foyers. Les lampes les plus répandues sont celles de 8, de 10, de 16 et de 20 bougies. Toutes les autres sont d'un usage plus ou moins exceptionnel. Cependant nous devons constater une tendance marquée à l'emploi des lampes de 300 à 500 bougies depuis que M. Parsons est parvenu à les manufacturer à un prix assez bas, avec une production régulière et rapide.

L'intensité d'une lampe n'est pas la même dans toutes les directions; aussi, pour rendre la comparaison facile et permettre d'évaluer le rendement électrique des divers types, est-il nécessaire de mesurer cette intensité dans plusieurs directions et d'indiquer la moyenne sphérique de l'éclairage produit.

L'intensité lumineuse diminue sensiblement avec l'âge des lampes.

D'après nos expériences personnelles, faites sur une centaine de lampes, cette diminution atteint 10 pour 100 en moyenne après une marche de 500 heures; 15 pour 100 après une marche de 800 heures, et 20 pour 100 après une marche de 1 000 heures.

Le major C.-E. Webber, en relevant des mesures régulières toutes les 100 heures, a trouvé les intensités suivantes, sur deux lampes fonctionnant sous une tension de 100 volts :

	Intensité du courant.	Intensité lumineuse.
Après 100 heures	0,63 ampères	18,5 bougies
— 200 —	0,65 —	18,8 —
— 300 —	0,65 —	20,7 —
— 400 —	0,65 —	18,5 —
— 500 —	0,65 —	18,5 —
— 600 —	0,65 —	18,5 —
— 700 —	0,65 —	18,0 —
— 800 —	0,64 —	17,5 —
— 900 —	0,64 —	15,5 —
— 1 000 —	0,64 —	15,2 —
— 1 100 —	0,64 —	15,2 —
— 1 200 —	0,64 —	15,2 —
— 1 300 —	0,64 —	15,2 —
— 1 400 —	0,64 —	15,2 —
— 1 500 —	0,63 —	13,7 —
— 1 600 —	0,63 —	13,7 —

Durée des lampes. — Les fabricants de lampes qui, au début, ne garantissaient aucune durée pour leurs produits, sont arrivés progressivement à garantir des durées moyennes de 500, de 600

et de 800 heures. Aujourd'hui ils garantissent une durée moyenne de 1 000 heures, à la condition que le nombre de volts indiqué ne sera pas dépassé et que la marche de la dynamo sera régulière.

Nous connaissons des usines où la durée moyenne des lampes Edison et Swan a dépassé 2 000 heures, et d'autres où on a atteint difficilement 600 heures avec les mêmes types de lampes. Il est certain que l'allure des moteurs a ici une grande influence, car les filaments périssent le plus souvent par suite de variations brusques de vitesse, lesquelles variations modifient le régime des dynamos et conséquemment l'alimentation régulière des lampes.

Quoi qu'il en soit, les lampes à incandescence peuvent être considérées, dans l'état de perfectionnement actuel des bonnes fabrications, comme capables de fournir une carrière de plus de 1 000 heures, et cela dans les conditions ordinaires d'un service d'usine, de magasin ou de théâtre.

En marche bien régulière, la vie d'une lampe dépend principalement de l'intensité du courant qui la traverse, et, par suite, de l'intensité lumineuse qu'on exige d'elle.

C'est ce qu'indiquent les deux tableaux suivants établis dans le laboratoire d'une des fabriques de lampes Edison et que nous donnons à titre de simple renseignement, sans nous y arrêter plus qu'il ne convient.

Durée des lampes suivant l'intensité lumineuse, l'intensité normale étant de 16 bougies :

INTENSITÉ en BOUGIES.	DURÉE en HEURES.	INTENSITÉ en BOUGIES.	DURÉE en HEURES.
10	5 550	19	534
11	3 963	20	443
12	2 857	21	371
13	2 134	22	312
14	1 628	23	266
15	1 292	24	228
16	1 000	25	196
17	802	30	163
18	651		

Durée des lampes suivant la différence de potentiel aux bornes, la différence de potentiel normale étant de 100 volts :

VOLTS de RÉGIME.	DURÉE en HEURES.	VOLTS de RÉGIME.	DURÉE en HEURES.
95	3 505	100	1 000
96	2 751	101	785
97	2 135	102	601
98	1 645	103	477
99	1 277	104	375
100	1 000	105	264

Le rendement et la durée d'une lampe dépendent de la substance du filament, de la température à laquelle il a été transformé en coke, de la durée qui a été nécessaire à cette transformation, des soins apportés à la construction de la lampe et enfin des soins apportés à son emploi.

M. Lodyguine, ayant reconnu que la destruction des filaments était en relation directe avec les efforts mécaniques agissant sur eux, s'est servi de cette relation pour déterminer le régime normal d'une série de lampes établies sous sa direction, avec les mêmes substances et par les mêmes procédés. A cet effet, il a cherché expérimentalement la durée moyenne des filaments d'un type maintenu à sa lumière normale ; puis il a envoyé un courant très intense dans des lampes neuves, de même type, de manière à les détruire immédiatement. Le rapport entre le nombre de watts ayant amené la rupture et celui dépensé en service courant lui a donné une sorte de caractéristique du type essayé.

Pour 4 types de lampes, ce rapport a été trouvé de 3,624, de 3,682, de 2,866 et de 3,609. En moyenne, le courant capable de détruire une lampe immédiatement était 3,445 fois aussi grand que celui qui correspondait à la durée normale de la lampe; de sorte qu'il suffisait ensuite de prendre quelques lampes dans ce lot, de les détruire par un courant, de prendre la moyenne de l'intensité nécessaire à cette destruction et de la diviser par 3,445,

pour connaître la puissance normale qui devait alimenter ce lot de lampes.

Ainsi employées, les lampes Lodyguine avaient, dans le laboratoire, une durée variant entre 1 400 et 1 800 heures.

Degré du vide. — Les filaments des lampes à incandescence ne peuvent durer qu'à la condition d'être plongés dans un milieu non comburant. Pour réaliser cette condition, quelques inventeurs ont préconisé l'emploi d'un gaz inerte ; mais les tentatives faites dans cette voie paraissent n'avoir pas réussi, car aujourd'hui toutes les lampes livrées à la consommation ont des ampoules dans lesquelles le vide a été opéré.

Pour produire ce vide, on fait usage de machines pneumatiques à mercure, basées sur la production du vide barométrique ou sur l'effet d'aspiration d'un filet de mercure tombant dans l'intérieur d'un tube mis en communication avec la lampe. Ces appareils, connus sous les noms de Geissler et de Sprengel (constructeurs qui leur ont donné une forme pratique), sont quelquefois combinés ensemble et donnent alors d'excellents résultats.

M. Heim, de Hanovre, a fait une série d'expériences très remarquables pour se rendre compte du degré de vide auquel on était parvenu industriellement dans la fabrication des lampes à incandescence. Il résulte de ces expériences que la pression dans une lampe à incandescence, à froid, est inférieure à $\frac{1}{100}$ de millimètre de mercure, et qu'à chaud la pression croît rapidement sans jamais dépasser $\frac{1}{10}$ de millimètre de mercure, quelle que soit la durée du fonctionnement. Cette différence entre la pression à froid et la pression à chaud vient de ce que le filament d'une lampe contient toujours une grande quantité de gaz qui se dégagent partiellement lorsque le courant, en traversant le filament, en élève considérablement la température.

Le vide pourrait être poussé davantage : il suffirait de laisser la lampe quelques heures de plus sur la pompe ; mais, plus l'opération est prolongée, plus elle coûte, et, au delà de la limite que nous venons d'indiquer, il n'y a aucun avantage à continuer la

raréfaction. On a même remarqué qu'un vide poussé trop loin était nuisible, parce qu'il accélérait le noircissement de l'ampoule par désagrégation du charbon et qu'il abrégeait la durée de la lampe.

Anciennes lampes à incandescence. — Bien que, dans toutes les installations d'éclairage par incandescence, on n'emploie plus aujourd'hui que des lampes à filament de charbon et à vide, il n'est pas inutile d'indiquer les principales solutions qui ont été présentées et appliquées, dans le domaine de la division des foyers électriques, avant la réalisation des remarquables résultats actuels. L'étude sommaire du passé fera mieux apprécier les avantages du présent et empêchera les chercheurs de poursuivre des conceptions chimériques déjà condamnées par l'expérience.

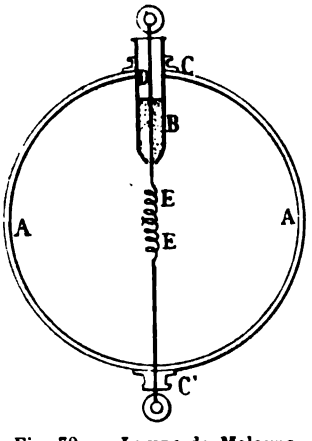


Fig. 79. — Lampe de Moleyns.

Les premiers travaux sur l'incandescence des fils métalliques ont eu pour auteurs MM. de Moleyns, Pétrie et de Changy; ceux sur l'incandescence du charbon dans le vide sont dus à MM. King, Nollet, Greener, Staite, etc...; ceux enfin sur l'incandescence du charbon à l'air libre, beaucoup plus modernes, ont été exécutés par MM. Varley, Reynier, Werdermann, Napoli, Ducretet, etc....

Nous allons décrire rapidement les appareils expérimentés par cette pléiade d'inventeurs.

Lampes à spirales métalliques. — En 1841, M. de Moleyns fit breveter en Angleterre l'appareil représenté par la figure 79.

Cet appareil se compose d'un globe en verre A, d'un petit réservoir cylindrique B, de deux presse-étoupe métalliques CC′ et de deux spirales en platine E E. Ces spirales sont maintenues au centre du globe au moyen de deux tiges traversant les presse-étoupe; elles sont mises en communication avec une pile électrique. Le tube B contient du charbon pulvérisé qui tombe grain à grain sur le platine et qui est, en résumé, la principale source

de lumière. Le fil de platine étant disposé en deux spirales, l'une au-dessus de l'autre, si les parties en contact viennent à fondre, on les rapproche au moyen des tiges.

Tous les joints sont bien étanches, afin que l'atmosphère du globe devienne rapidement inerte.

En 1849, M. Pétrie reprenait la même idée, en changeant la nature du conducteur. Voici en quels termes il relate son invention :

« Une lumière peut être produite en faisant passer un courant électrique à travers un conducteur court et mince qui s'échauffe et devient lumineux; mais la plus grande partie des substances fondent et brûlent rapidement; cependant j'obtiens une bonne lumière en me servant de l'iridium, ou de quelques-uns de ses alliages. L'iridium peut être fondu jusqu'à produire un lingot, lorsqu'il est soumis à la chaleur de l'arc voltaïque; on le décarbonise ensuite, et on le rend plus malléable. Puis, on le coupe par petits morceaux de $0^m,001$ de diamètre et de $0^m,010$ à $0^m,020$ de longueur, que l'on fixe entre deux supports métalliques isolés, lesquels sont en connexion avec les deux fils d'une batterie galvanique convenable. On obtient alors une belle lumière. »

En 1858, M. de Changy reprit l'étude de la division de la lumière électrique en garnissant ses lampes de fils de platine et en faisant le vide dans les ampoules. La partie originale du système Changy consistait dans l'établissement d'un électro-aimant en face de chaque lampe, lequel électro-aimant avait pour objet de modérer le courant traversant la lampe, d'empêcher une usure trop rapide du platine, et de fermer le circuit métalliquement en cas de rupture de la spirale. Cette invention, dont on a beaucoup parlé en son temps, permettait d'obtenir un assez grand nombre de foyers indépendants les uns des autres, avec une pile relativement faible.

Lampes à baguettes de charbon. — En 1845, M. King fit breveter en Angleterre une lampe à charbon incandescent, imaginée par M. J.-W. Starr, de Cincinnati. Dans cette lampe, représentée (Fig. 80), la baguette en charbon de cornue A repose entre deux petits blocs de même substance, lesquels sont maintenus à écartement constant par une tige en porcelaine B. L'appareil est

constitué comme un véritable baromètre, la tige C repose dans le mercure, et le joint D est d'une étanchéité parfaite. Les communications avec le générateur d'électricité ont lieu par l'extrémité supérieure et par le bain de mercure.

En 1846, Greener et Staite se firent breveter pour une lampe analogue à la précédente, en indiquant que, avant d'employer les baguettes de charbon, il fallait les débarrasser de leurs impuretés en les traitant par l'acide nitro-muriatique.

Fig. 80. Lampe King.

Pendant vingt-cinq ans on fit quelques inventions relatives aux régulateurs pour l'arc voltaïque; mais on ne s'occupa guère des lampes à incandescence, si ce n'est pour constater leur faible durée et l'impossibilité où l'on était de s'en servir pratiquement.

En 1873, un jeune physicien russe, M. Lodyguine, créa une petite lampe (Fig. 81) qui peut être considérée comme un trait d'union entre celle de Starr et les lampes actuelles.

Le charbon incandescent, au lieu d'être rectiligne, est préparé en arc, et les deux tiges de prise du courant sortent du même côté de la lampe.

L'invention de M. Lodyguine a été perfectionnée en France par deux de ses compatriotes, MM. Kosloff et Konn.

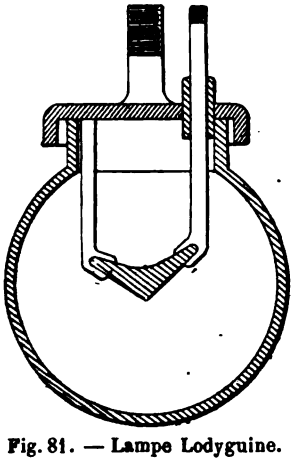


Fig. 81. — Lampe Lodyguine.

Ce dernier avait imaginé une disposition assez originale pour empêcher les extinctions provenant de la rupture d'un charbon incandescent. Cette disposition est représentée (Fig. 82).

Sur le socle A venaient s'ajuster un globe B, deux tiges C et D, une soupape K, et deux bornes N. Les tiges C et D étaient terminées par deux plateaux F et G entre lesquels on plaçait 5 petits crayons OEO de diverses longueurs. Une charnière métallique I, en contact avec le charbon le plus long, venait successivement s'appuyer sur les autres charbons, au fur et à mesure de leur

combustion. Le vide était fait par le siège de la soupape K, dont le clapet ne pouvait s'ouvrir que de dedans en dehors, de façon à empêcher toute rentrée d'air pendant la marche. Le joint du globe avec le socle était obtenu à l'aide d'un écrou L pressant sur une rondelle en caoutchouc.

Dès que le courant était établi, la baguette E devenait incandescente; sa lumière, d'abord blanche, fixe, constante, scintillait au bout de quelque temps; puis le charbon s'amincissait et se rompait. La charnière tombait alors sur le charbon suivant qui brûlait à son tour, mais beaucoup plus lentement que le premier. Les 5 charbons permettaient de fonctionner une semaine environ lorsqu'ils étaient de bonne qualité. Quand tous les charbons étaient usés, la charnière s'arrêtait sur la tige métallique H, et le circuit n'était pas rompu, ce qui rendait possible l'installation de plusieurs lampes sur un même circuit. Les fragments usés tombaient dans le tube M.

Fig. 82. — Lampe Konn.

De 1874 à 1876 nous avons fait personnellement de nombreuses expériences avec la lampe Konn; mais l'absence de crayons homogènes nous a empêché d'en tirer parti industriellement. Le vide était réalisé avec des pompes tout à fait primitives; les contacts entre les tiges n'étaient pas toujours bien assurés; la soupape de retenue n'avait pas une étanchéité absolue, etc.; malgré cela nous obtenions une belle lumière, d'environ 50 becs par foyer, très fixe et assez économique.

Nous citerons seulement pour mémoire les lampes Bouliguine et Chéremeteff qui étaient un peu plus simples et un peu plus pratiques que celles de Konn, mais qui avaient toujours contre elles le joint imparfait du globe avec le support et qui comportaient les mêmes baguettes de charbon de cornue.

Lampes à filament. — C'est à M. Edison que revient l'honneur d'avoir fait la première lampe à incandescence réellement satisfaisante. Cette lampe a été réalisée en 1880.

Longtemps avant cette époque, plusieurs inventeurs, parmi lesquels nous citerons M. Swan, en Angleterre, et M. de Changy, en Belgique, avaient, dit-on, établi des petites lampes à vide et à charbon incandescent; mais personne, avant le célèbre inventeur américain, n'était parvenu à réaliser une lampe tout à fait pratique, pouvant être fabriquée couramment, régulièrement, économiquement, et fournir une longue carrière : une lampe *marchande*, pour tout dire en un mot.

Le succès de M. Edison tient surtout au choix judicieux de la fibre, à son traitement, à sa forme filamenteuse, à son mode d'attache et à son introduction dans un tube de verre, relié lui-même à l'ampoule sphérique. L'idée de faire passer un courant dans le filament, pendant que le vide s'opère dans l'ampoule, constitue à elle seule une très belle invention.

Ce n'est qu'à la suite de la publicité retentissante qu'eurent les premières applications des lampes de M. Edison, que ses concurrents, disons même ses devanciers, se mirent sérieusement à l'œuvre et parvinrent à leur tour, sans trop emprunter ses procédés, à exécuter de bonnes lampes et à lutter avec lui sur le terrain commercial.

Nous laissons de côté le point de vue de priorité légale; c'est là une question de brevets pris en temps utile, de revendications plus ou moins bien formulées, de droits dont la sanction varie avec chaque contrée, et qui sera peut-être définitivement tranchée en faveur des adversaires de l'inventeur. Nous n'envisageons que le fait en lui-même du service rendu. Notre raisonnement est simple : existait-il avant les travaux de M. Edison une seule lampe électrique à vide fonctionnant régulièrement et longtemps? — Évidemment non. Depuis ses travaux, il en existe des centaines de mille en marche normale, et la fabrication des lampes à filament est une industrie florissante. Voilà la vérité dégagée de toute question mercantile.

La postérité associera les noms de Gramme et d'Edison pour désigner les promoteurs de l'éclairage électrique, c'est-à-

dire du plus intense et du plus hygiénique de tous les éclairages artificiels connus.

Lampes brûlant à l'air libre. — Pour éviter les complications qu'entraînait le remplacement des charbons dans les lampes à vide, M. Varley imagina, en 1876, de faire reposer une petite baguette de charbon sur un bloc de même substance, et il donna à ses charbons la disposition indiquée par la figure 83.

Le charbon inférieur N avait la forme d'un tronc de cône, et le charbon supérieur T, celle d'un arc de cercle. Ce dernier seul subissait une usure assez rapide; le bloc N s'échauffait beaucoup, mais s'usait excessivement peu. Le porte-charbon U était articulé au centre même de l'arc T, au sommet du cône. De temps en temps on tournait le galet N, de manière à ce que sa surface restât aussi régulière que possible.

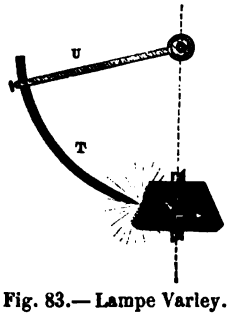


Fig. 83.— Lampe Varley.

En 1878, MM. Reynier et Werdermann reprirent l'idée de M. Varley et purent la perfectionner beaucoup, grâce aux progrès qui venaient d'être accomplis par MM. Gauduin et Carré dans la fabrication des crayons électriques artificiels.

Voici en quels termes M. Reynier exposait à l'Académie des sciences le principe de sa lampe :

« Si une mince baguette de carbone, pressée latéralement par un contact élastique, et poussée, suivant son axe, sur un contact fixe, est traversée entre ces deux contacts par un courant assez énergique, elle devient incandescente dans cette partie et brûle en s'amincissant vers l'extrémité. A mesure que l'usure du bout se produit, la baguette, continuellement poussée, progresse en glissant dans le contact élastique, de manière à butter sans cesse sur le contact fixe. La chaleur, développée par le passage du courant dans la baguette, est grandement accrue par la combustion du carbone. »

Nous représentons (Fig. 84) une des nombreuses dispositions de lampes à incandescence combinées par M. Reynier.

Cette lampe se compose d'un socle, d'une colonne, d'une tige métallique coulissant dans la colonne, et d'un petit système

de triple contact et de freins, constituant la partie originale de l'appareil.

Une roue en charbon est montée à l'extrémité d'un châssis oscillant, articulé dans l'axe de la colonne, et portant un taquet destiné à soulever ou à maintenir en place un petit frein. Ce frein a pour effet d'empêcher la tige de descendre dans la colonne.

Un crayon de charbon artificiel, ayant $0^m,30$ de longueur et $0^m,002$ de diamètre, est fixé sur le chapeau de la tige, vient s'appuyer contre la roue, un peu en avant de son diamètre vertical, et la fait tourner, quand la tige est débrayée. Le crayon est guidé, à quelques centimètres au-dessus de la roue, par une rondelle en cuivre agissant extérieurement. Un petit bloc de charbon, situé entre la roue et la rondelle, vient en contact du crayon, pour limiter la partie de ce crayon rendue lumineuse par le passage du courant.

Lorsque cette lampe est mise dans un circuit électrique, la petite partie du crayon comprise entre la roue et le bloc en charbon devient incandescente et ne tarde pas à se brûler complètement; la roue n'étant plus pressée se relève, le frein se desserre, et la tige s'abaisse, entraînant avec elle le crayon. Le contact amène une nouvelle pression sur la roue qui, à son tour, agissant sur le frein, immobilise la tige et le crayon.

Fig. 84. — Lampe Reynier.

La lumière est régulière; quand tout va bien, les charbons durent deux heures.

M. Reynier a imaginé d'autres lampes, basées sur le même principe, dont le fonctionnement nous a paru plus sûr que celui de la précédente, mais dont il est inutile de parler ici, puisque la pratique n'a sanctionné aucune de ces lampes.

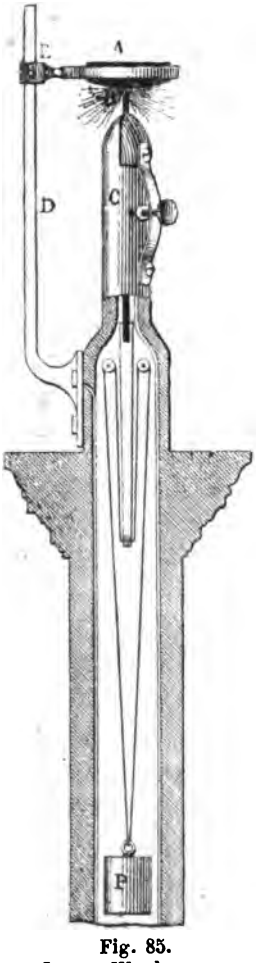


Fig. 85.
Lampe Werdermann.

M. Werdermann préférait les blocs fixes aux blocs tournants. Sa lampe était plus simple et paraissait plus rationnelle, surtout lorsqu'on examinait les types étudiés par M. Napoli. Cependant, elle n'a pas plus vécu *industriellement* que celle de M. Reynier, parce que les lampes à vide sont arrivées avec leurs immenses avantages, au moment même où on commençait à s'intéresser aux expériences des lampes à *contacts imparfaits,* comme on les appelait alors.

Nous représentons (Fig. 85) une des premières lampes Werdermann que nous ayons expérimentées; elle contient toutes les particularités du système.

Le disque en charbon A est en communication avec le pôle négatif du générateur d'électricité, et le crayon B avec le pôle positif. Le crayon B est placé dans un support C; il est retenu par un ressort agissant sur un petit bloc métallique mobile. Un poids P force le crayon à monter au fur et à mesure de son usure.

Le disque A est maintenu en place par l'anneau E attaché à la tige coudée D.

Une simple inspection de la figure suffit pour rendre compte du fonctionnement de tous les organes de cette lampe.

Voici, pour clore le sujet des lampes à incandescence à l'air libre, une disposition (Fig. 86) réalisée par M. Ducretet, constructeur d'appareils de précision.

Dans la lampe Ducretet, le crayon incandescent C plonge

dans un bain de mercure T. Le chapeau métallique B, qui ne sert que de guide au crayon, est isolé du tube rempli de mercure par une chemise en bois; il est mis en communication avec la partie inférieure du tube par un fil conducteur *t*.

Les guides métalliques fixés sur le chapeau B sont mobiles, et leur ouverture dépend du diamètre des crayons qu'on emploie.

Par suite de l'action répulsive de deux portions consécutives d'un même courant, mais surtout par suite du contact imparfait du crayon C avec le bloc H qui complète le circuit, il se produit un très petit arc; puis le crayon rougit sur une certaine longueur et s'use au fur et à mesure de sa combustion, constamment amené au point d'appui H par la poussée du mercure. — La chaleur intense du crayon se communique de suite au chapeau métallique B, puis trouve un écoulement rapide par le conducteur métallique *t* qui y est fixé. Le calorique tend donc à arriver, par l'intermédiaire de ce conducteur, à la partie inférieure du tube T, et à échauffer le mercure par la partie inférieure de ce tube T; mais le rayonnement et la masse rendent cet effet nul. Cette dérivation de la chaleur est tellement efficace que, après une expérience de longue durée, le chapeau B devient extrêmement chaud; mais le tube de fer T reste sensiblement froid à la partie supérieure où s'arrête le mercure. Le courant électrique arrive directement, par la masse de l'appareil, à la partie supérieure du crayon; en même temps, par dérivation, le conducteur *t* amène le courant directement au chapeau B; la portion de crayon traversée par le courant se trouve *ainsi limitée* à la distance comprise entre le bloc H et le chapeau B, lequel a donc pour effet de *guider* le

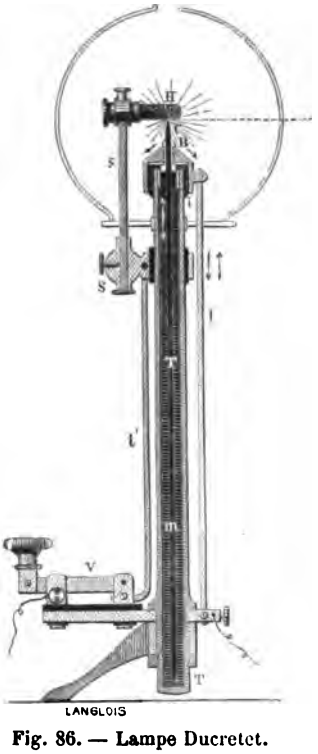


Fig. 86. — Lampe Ducretet.

crayon, de *faciliter* le passage du courant électrique, et de faire dériver le calorique qui agirait directement sur le mercure si l'enveloppe isolante *i* était supprimée.

Le conducteur *t'* relie le verrou V (isolé de l'appareil) avec le support S également isolé du tube T; il amène le courant au point d'appui H, qu'il suffit de déplacer un peu, après chaque séance de lumière, pour renouveler la surface de contact.

Tout en constatant le peu de succès pratique des appareils que nous venons de décrire, il est juste de reconnaître cependant qu'ils étaient fort ingénieux, et qu'ils donnaient une belle lumière blanche, plus fixe que celle de l'arc voltaïque et plus économique que celle des lampes à vide.

CHAPITRE VIII

PHOTOMÉTRIE

Objet de la photométrie. — La photométrie a pour objet la mesure des intensités lumineuses; elle consiste à comparer entre eux deux foyers de puissance et de nature différentes, ou à rechercher les conditions générales d'éclairement d'un espace quelconque.

Les mesures photométriques sont basées sur le principe suivant : *les intensités lumineuses d'un même foyer sont entre elles, pour un même éclairement, comme le carré des distances du foyer à l'objet éclairé.*

Une lampe placée à 1 mètre d'une feuille de papier blanc détermine sur cette feuille une intensité lumineuse quatre fois égale à celle produite par la même lampe placée à 2 mètres; neuf fois aussi grande que la lampe placée à 3 mètres, et ainsi de suite.

Il résulte de là que la feuille de papier peut être également éclairée, soit avec une lampe placée à 1 mètre, soit avec une lampe d'intensité quadruple placée à 2 mètres, soit en général avec une lampe d'une intensité n placée à une distance exprimée par $\sqrt{n}$ mètres.

Par conséquent, pour comparer entre eux deux foyers lumineux A et B, dont l'un est pris pour unité, il suffit de les placer à proximité d'un écran sur les moitiés duquel chacun d'eux projette séparément sa clarté, et de mesurer la distance des foyers à l'écran lorsqu'on est parvenu, en approchant ou en éloignant l'un des foyers, à donner à l'écran un éclairage uniforme et égal sur les deux moitiés.

En appelant :

I l'intensité du foyer A;
i l'intensité du foyer B;
D la distance du foyer A à l'écran;
d la distance du foyer B à l'écran;

nous aurons, en vertu du principe des intensités lumineuses :

$$Id^2 = iD^2,$$

d'où

$$I = \frac{iD^2}{d^2}.$$

Si l'intensité i du foyer B est prise pour unité, la valeur de l'intensité du foyer A sera donnée par la formule

$$I = \frac{D^2}{d^2}.$$

Au lieu d'égaliser les deux lumières sur l'écran, on peut y projeter les ombres produites par une tige interposée entre les deux foyers et l'écran, et faire en sorte que les deux ombres soient d'égale valeur. Les intensités des foyers sont alors dans le rapport des carrés de leurs distances respectives à la tige projetant les ombres sur l'écran.

Unités et étalons photométriques usuels. — Si, grâce au Congrès des électriciens de 1881, les unités électriques sont aujourd'hui les mêmes dans tous les pays, il n'en est pas de même des unités photométriques, sur lesquelles on n'est pas encore parvenu à se mettre d'accord, malgré les remarquables travaux de M. Violle et l'assentiment donné aux unités qu'il proposait par la Conférence internationale de 1884.

En France, l'unité de lumière la plus usitée est le bec carcel; en Angleterre et aux États-Unis, c'est la bougie de spermaceti; en Prusse, la bougie de paraffine; en Bavière, la bougie de Munich.

Le bec carcel est obtenu à l'aide d'une lampe à remontoir mécanique, brûlant à l'heure 42 grammes d'huile de colza épurée et répondant exactement aux conditions suivantes de fonctionnement :

Diamètre extérieur du bec	23,5	millimètres.
— du courant d'air intérieur...	17	—
— du courant d'air extérieur...	45,5	—
Hauteur totale du verre.....	290	—
Distance du coude à la base du verre..	61	—
Diamètre extérieur au niveau du coude.	47	—
Diamètre extérieur du verre en haut..	34	—
Epaisseur moyenne du verre.....	2	—
Hauteur de la flamme	40	—

— La bougie normale anglaise ou *candle*, consommant 7,776 grammes de spermaceti par heure, donne une intensité lumineuse de..... 0,12 carcel.

— La bougie normale allemande, dont la flamme a 50 millimètres de hauteur, produit une lumière égale à..... 0,14 —

— La bougie normale de Munich, consommant 10,4 grammes de stéarine à l'heure, a une intensité de..... 0,153 —

— La bougie de l'Étoile de 5 au paquet, consommant 10 grammes de stéarine à l'heure avec une flamme de 5,25 millimètres, représente..... 0,136 —

— La bougie de l'Étoile de 6 au paquet se rapproche beaucoup de la bougie anglaise; elle vaut..... 0,132 —

Un bec carcel vaut donc:

8,3 bougies anglaises de spermaceti;
7,5 — allemandes de paraffine;
6,5 — bavaroises de stéarine;
7,4 — de l'Étoile de 5 au paquet;
7,6 — — de 6 au paquet.

L'intensité obtenue avec le gaz d'éclairage varie suivant les qualités de charbon et les soins apportés à l'épuration. En général, un bec, pour donner l'intensité de la lampe carcel, brûle 125 litres de gaz à l'heure. A Paris, il est d'usage de compter sur une dépense de 140 litres par carcel et par heure, en tenant compte des fuites et des irrégularités du compteur.

Unité de lumière adoptée par la Conférence internationale des Unités électriques. — Cette conférence a adopté les résolutions suivantes, sur la proposition de M. Violle :

L'unité de chaque lumière simple est la quantité de lumière de même espèce émise, dans la direction normale, par un centimètre carré de platine fondu, à la température de solidification.

L'unité pratique de lumière blanche est la quantité de lumière émise normalement par la même source.

Voici le procédé indiqué par M. Violle pour réaliser cette unité :

Pour obtenir une surface de platine toujours à la même température de fusion et assez nette pour posséder le même pouvoir émissif, il faut employer un petit four consistant en un morceau de chaux creusé recevant le platine à fondre. Ce petit four est muni d'un couvercle, également en chaux, traversé par un chalumeau à gaz d'éclairage et oxygène.

Le platine étant fondu et même porté à une température supérieure à celle de sa fusion est amené au-dessous d'un diaphragme percé d'une ouverture de surface déterminée. On peut prendre telle surface que l'on veut. L'éclat étant le même en tous les points de la surface rayonnante, il suffit d'adopter tel multiple ou sous-multiple du *centimètre carré* pour avoir le multiple ou le sous-multiple correspondant de l'unité fondamentale.

Les rayons sortant par l'ouverture du diaphragme sont reçus par un photomètre soigneusement protégé contre toute radiation extérieure.

Le rayonnement du platine et celui de la source lumineuse à mesurer étant ainsi tous les deux envoyés sur l'écran photométrique, on amène les deux éclairements à l'égalité.

Il résulte de l'observation photométrique qu'on saisit avec facilité le moment où il faut relever la mesure, d'autant plus que la solidification définitive est accompagnée d'un éclair qui marque ainsi la fin de la période pendant laquelle l'intensité lumineuse est restée constante.

Cette unité de lumière n'est pas commode à réaliser dans les ateliers ; elle ne peut réellement servir pratiquement qu'à étalonner des bougies, des brûleurs à gaz ou des lampes de divers systèmes.

Étalon Hefner-Alteneck. — M. Hefner-Alteneck, ingénieur de la maison Siemens et Halske, a proposé comme étalon lumineux la flamme produite par une mèche saturée d'*acétate d'amyle*, substance qu'on obtient en distillant deux parties d'acétate de potasse avec une partie d'alcool amylique et une partie d'acide sulfurique.

Ce liquide peut se préparer facilement avec un degré de

pureté assurant assez bien la régularité des expériences photométriques.

Le même ingénieur a également proposé l'emploi d'une lampe brûlant de la benzine, dont l'éclat était sensiblement le même que la bougie normale allemande.

Étalon Vernon-Harcourt. — M. Vernon-Harcourt a employé avec succès, pour obtenir une lumière fixe et d'une constance exceptionnelle, les vapeurs de *pentane*, qui ont la propriété de brûler toujours dans des conditions identiques. Le pentane est un carbure d'hydrogène extrait du pétrole.

Ce dernier étalon donne, si nous en croyons M. Dibdin, des résultats extrêmement remarquables. Sur 154 expériences réalisées au moyen d'une lampe au pentane, il s'en est trouvé 150 ayant donné des écarts inférieurs à 1 pour 100, tandis que, en opérant avec des bougies en spermaceti, sur 454 expériences, il ne s'en est trouvé que 154 présentant des écarts inférieurs à 1 pour 100. D'un côté on obtient 97 pour 100 de bons résultats, tandis que, de l'autre, cette proportion se trouve réduite à 34 pour 100.

Appareils photométriques. — Les appareils employés pour comparer les intensités lumineuses sont très nombreux ; les uns, et c'est le plus grand nombre, ne servent qu'à évaluer la puissance directe des foyers; les autres permettent, non seulement d'effectuer cette opération, mais encore de déterminer les conditions générales et particulières d'un éclairement solaire ou artificiel.

Nous décrirons sommairement quelques-uns de ces appareils.

Photomètre Rumfort. — Ce photomètre est basé sur le principe que l'intensité des ombres est proportionnelle à l'intensité des lumières qui leur donnent naissance. Il se compose (Fig. 87) d'un écran vertical CD formé d'une feuille de papier blanc tendue sur un châssis AB et d'une tige cylindrique, fixée verticalement à une certaine distance de l'écran. Les lumières *l* et L sont placées de manière à ce que les flammes aient la même hauteur et

à ce que leurs ombres *mn* et MN soient très près l'une de l'autre. L'observateur apprécie par transparence l'intensité des ombres, et, en modifiant la position des lumières, il arrive très rapidement à égaliser les deux ombres.

Photomètre Bouguer. — Cet appareil consiste en un cadre en bois portant deux ouvertures égales recouvertes de papier

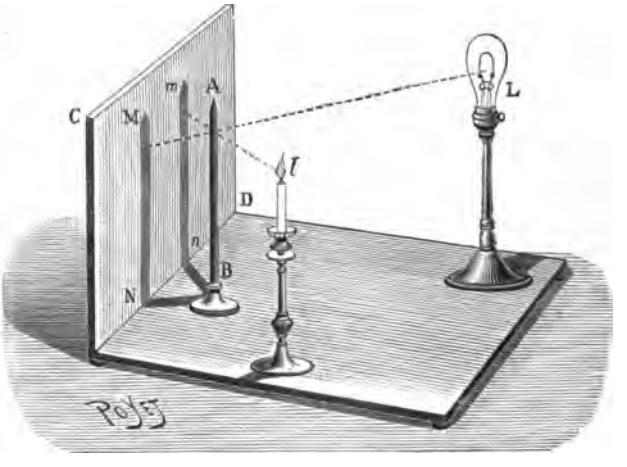


Fig. 87. — Photomètre Rumfort.

translucide; une paroi opaque est placée à angle droit sur l'écran ainsi formé et sépare les deux ouvertures dont l'une reçoit les rayons de la lumière étalon et l'autre ceux de la lumière à mesurer. On déplace une des lumières jusqu'à ce que l'observateur, placé derrière l'écran, voie les deux ouvertures également éclairées, et on mesure les distances des lumières aux ouvertures.

Photomètre Foucault. — Le photomètre imaginé par M. Léon Foucault (Fig. 88) est un des plus commodes et des plus employés. Il se compose d'un cadre vertical en bois noirci dans lequel se trouve pratiquée une ouverture à la hauteur de l'œil de l'observateur. Cette ouverture est munie d'ailes inclinées et reçoit entre deux rainures latérales une plaque de verre dépoli dont une partie est visible derrière l'ouverture.

Perpendiculairement au verre, placé contre le cadre MN, se

trouve un écran PQ divisant le cadre en deux parties égales. Cet écran porte une échelle graduée qui coulisse dans un guide horizontal et traverse sa face antérieure de manière que l'observateur puisse faire mouvoir l'écran et régler la distance qui le sépare de la plaque de verre. Le déplacement de l'écran a pour effet de réduire à une simple ligne l'ombre qui sépare les deux surfaces éclairées par les foyers L et L'.

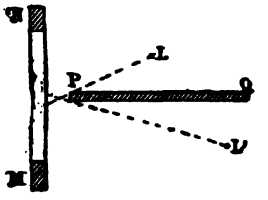


Fig. 88. — Photomètre Foucault.

Pour établir l'uniformité de teinte, on recouvre souvent la plaque de verre dépoli d'une plaque de verre coloré transparent. Le verre qui convient le mieux est du verre transparent ordinaire rendu opalescent par un dépôt bien uniforme d'amidon en poudre très fine.

Notons que, pour bien réussir des expériences photométriques avec l'appareil Foucault, comme avec les appareils similaires, il est nécessaire de placer le photomètre et l'œil à l'abri de toutes les lumières autres que celles à comparer et d'éliminer toute lumière réfléchie ou diffusée. On arrive à ce résultat en examinant les surfaces éclairées au moyen d'un cône ou d'un cylindre de carton noirci à l'intérieur qui maintient l'œil à une certaine distance de la plaque, et en plaçant l'appareil et l'observateur dans la plus grande obscurité possible. Nous conseillerons également de ne pas prendre de mesures photométriques plus de deux heures par jour pour éviter de trop fatiguer l'œil, et de faire vérifier par plusieurs opérateurs les écrans lumineux, quand on juge que l'égalité de l'éclairement est obtenue.

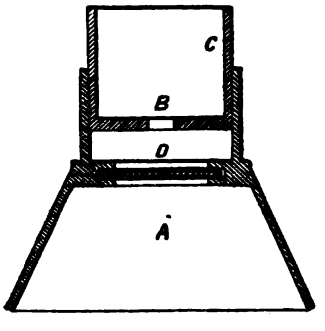


Fig. 89. — Photomètre Degrand.

Photomètre Degrand. — Cet appareil est semblable au précédent, à cette différence près que l'écran, perpendiculaire au verre, est remplacé par un écran parallèle percé d'une ouverture longitudinale. La figure 89 montre les organes principaux du photomètre Degrand. A est le cadre à ailettes par

lequel on observe, D le verre dépoli, C l'écran et B l'ouverture par où passent les rayons des deux sources lumineuses.

Photomètre Bunsen. — Cet appareil est également un des plus employés dans les laboratoires et les ateliers ; un peu plus compliqué que les précédents, il est, par contre, d'un emploi plus rapide et ses indications sont un peu plus précises. Il est basé sur ce fait que, si l'on place entre deux lumières un écran sur lequel se trouve une tache d'huile, cette tache disparaît quand elle est également éclairée sur ses deux faces.

La construction en est très bien comprise. L'appareil se compose en principe d'une échelle graduée sur laquelle glisse un petit chariot muni d'un cadre et d'un index (Fig. 90). Le cadre AB est tendu d'un diaphragme en papier, recouvert d'une solution de spermaceti et de benzine, sauf un espace *m* réservé au milieu. Ce cadre est placé à l'intersection de deux miroirs MN et M'N'. La bougie est disposée sur une balance qui indique la dépense de spermaceti ou de stéarine à l'heure. L'écran est renfermé dans un cylindre métallique ouvert aux deux bouts et muni de deux ouvertures longitudinales, permettant d'observer en même temps les deux miroirs. Le cadre portant le diaphragme est déplacé jusqu'à ce que la tache qui y est réservée soit rendue invisible. On note alors la division de l'échelle en face de laquelle se trouve l'index.

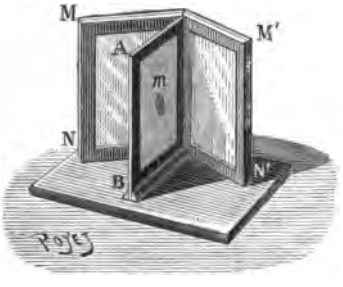


Fig. 90. — Photomètre Bunsen.

Photomètre Silvanus Thompson et Starling. — Cet appareil (Fig. 91) se compose d'une barre longitudinale graduée, au milieu de laquelle sont fixés, dos à dos, et formant entre eux un angle aigu, deux écrans opaques A. Sur l'un de ces écrans vient tomber la lumière *c* que l'on veut mesurer, et sur l'autre la lumière de deux bougies BB ou *candles* normales. On obtient les intensités relatives en mesurant les distances du sommet de l'angle des écrans aux bougies et au foyer expérimenté. L'échelle tracée sur la barre

est graduée de manière à réduire les calculs à un minimum. Quand la lumière à mesurer est d'une faible intensité, on déplace le support du foyer de N en M, et on divise par deux les nombres indiqués sur l'échelle de graduation.

L'appareil Thompson et Starling peut également être utilisé pour évaluer l'intensité d'un foyer à arc voltaïque. A cet effet, la barre D se place sur un support à trois pieds et reçoit en N un miroir elliptique destiné à réfléchir la lumière de l'arc sur l'écran A. Les bougies BB sont alors avantageusement remplacées par de fortes lampes à incandescence étalonnées aussi exactement que possible.

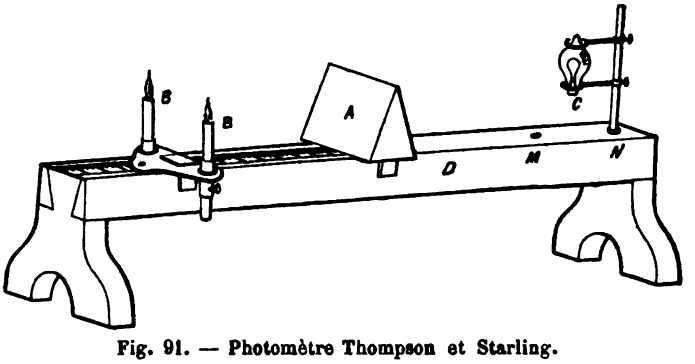


Fig. 91. — Photomètre Thompson et Starling.

Photomètre Cornu. — Dans ses recherches sur la photométrie, M. Cornu recommande l'emploi d'un appareil basé sur la propriété suivante des lentilles, découverte par Bouguer : si l'on place devant une source lumineuse un écran percé d'une ouverture et que le faisceau de lumière traverse une lentille et tombe sur un autre écran placé au foyer de ladite lentille, l'image focale obtenue est, quant à la forme, indépendante des dimensions et de la forme de l'ouverture, et son intensité est proportionnelle à la surface ou section de cette ouverture.

Le photomètre construit par M. Cornu pour la mise en pratique de ce principe est formé de deux objectifs achromatiques identiques, dont les axes optiques se coupent au double environ de leur distance focale commune. Chacun de ces objectifs projette sur un écran blanc l'image de deux diaphragmes derrière lesquels sont placées les sources lumineuses à comparer. Sur

chaque objectif est disposée une plaque métallique portant une ouverture dont la surface est réglable à volonté. On produit l'égalité d'éclairement des deux images en modifiant la surface d'une des ouvertures.

Un dispositif ingénieux permet de lire les surfaces des ouvertures sans aucune opération spéciale. Le rapport entre les deux surfaces est le même que celui existant entre l'intensité des deux sources lumineuses soumises à l'expérience.

Si l'on veut augmenter l'exactitude de cette méthode, il suffit de comparer les deux foyers à un troisième foyer auxiliaire; de cette manière on élimine les causes d'erreur provenant des défauts de construction des lentilles et des diaphragmes.

Photomètre Napoli. — Le principe de cet appareil repose sur les deux phénomènes suivants :

1° Si, par un trou pratiqué dans la paroi d'une chambre noire, on reçoit sur la paroi opposée la lumière émise par une source lumineuse quelconque, la surface éclairée paraît également intense dans toute son étendue, à la seule condition que les rayons du faisceau soient, autant que possible, parallèles. En réduisant ce trou de moitié, la quantité de lumière reçue sur le fond de la chambre noire sera également de moitié; il en sera de même pour une réduction quelconque de l'ouverture. La lumière reçue sur la paroi qui sert d'écran sera, dans tous les cas, directement proportionnelle, en quantité, à la grandeur de l'orifice par où pénètre le faisceau lumineux ;

2° Si on remplace la paroi non éclairée par un disque opaque percé d'un trou à une distance quelconque du centre, et si l'on dispose une source lumineuse en regard de ce trou, on verra, lorsque le disque sera mis en mouvement, l'image se déplacer circulairement sur l'écran et former, par suite de la persistance de ladite image sur la rétine, un anneau uniformément éclairé. L'intensité lumineuse de cet anneau est indépendante de la vitesse du disque; elle ne dépend que de la surface du trou, de sorte que, si, pendant la rotation du disque, on augmente ou on diminue la grandeur de l'ouverture, l'anneau sera plus ou moins éclairé.

Voici comment M. Napoli a appliqué le principe que nous venons d'exposer :

Deux disques D D' de même diamètre (Fig. 92) sont juxtaposés et échancrés en créneaux sur leur pourtour.

Ces disques se meuvent l'un sur l'autre de manière à pouvoir présenter des espaces vides plus ou moins grands à la volonté de l'observateur. L'un des disques est calé sur l'arbre central lequel est mis en mouvement à l'aide d'un volant et d'une corde sans fin. L'autre disque est mobile sur l'arbre central et porte un cylindre à rainure hélicoïdale dans laquelle s'engage un pivot tenu par le manchon C. Ce manchon, au moyen d'un clavetage, peut se mouvoir longitudinalement dans une seconde rainure pratiquée sur l'axe du premier disque et suivant une génératrice; il est en outre terminé par une crémaillère circulaire, actionnée par le bouton B (Fig. 93) et par le pignon P.

Fig. 92. — Disques du photomètre Napoli.

Grâce à ce petit mécanisme, il suffit de tourner le bouton B pour déplacer le second disque et pour augmenter ou diminuer les ouvertures du pourtour. Le pas de la rainure hélicoïdale est calculé de façon qu'à une course totale de va-et-vient du manchon correspond un recouvrement complet des deux disques l'un par l'autre, recouvrement interceptant ainsi toute lumière ou ouvrant, au contraire, totalement tous les créneaux.

Au bout de l'axe du pignon P, en B, se trouve une aiguille qui indique, sur un cadran divisé en degrés, l'importance exacte des ouvertures.

En O (Fig. 93), l'inventeur a placé un oculaire au sommet d'une lunette cônique, bouchée à l'autre extrémité par un verre dépoli; et dans l'axe vertical de la lunette se trouve, au delà du verre dépoli, un écran opaque E destiné à séparer les rayons

émis par la lumière étalon de ceux émis par le foyer à mesurer. Au moyen du bouton *c* et de la crémaillère *h*, cet écran peut avancer ou reculer de manière à fournir une estimation aussi commode que précise.

Un autre bouton permet de rapprocher plus ou moins les deux plaques *e* et *e'* qui servent à augmenter ou à diminuer le champ lumineux au gré de l'observateur.

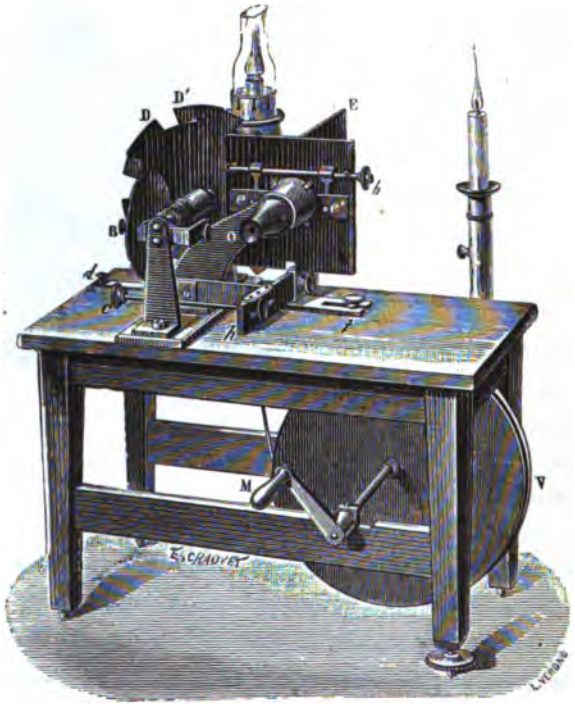


Fig. 93. — Photomètre Napoli.

Pour se servir de l'instrument, on place les deux lumières à comparer à une distance égale, l'une et l'autre, du verre dépoli, et sous un angle tel que l'écran E forme la bissectrice de cet angle. De la main droite on tourne la manivelle M à raison d'un tour environ par seconde, ce qui donne pour les disques D D' une vitesse de 30 tours. On fixe l'œil à l'oculaire O pendant que, de la main gauche, à l'aide du bouton B, on ouvre ou on resserre les

échancrures des disques pour obtenir sur le verre dépoli deux images lumineuses de même intensité.

Les rayons de la lumière étalon arrivent directement sur le verre dépoli; ceux émis par le foyer à mesurer passent par les échancrures des disques.

L'aiguille du cadran indique le nombre de degrés correspondant à l'ensemble des ouvertures. Le rapport de ce nombre à la circonférence donne le chiffre d'unités en fonction de la lumière type. Si le quotient est 3, 4, 5, par exemple, cela indique que le foyer à l'étude est 3, 4, 5 fois aussi intense que le foyer étalon.

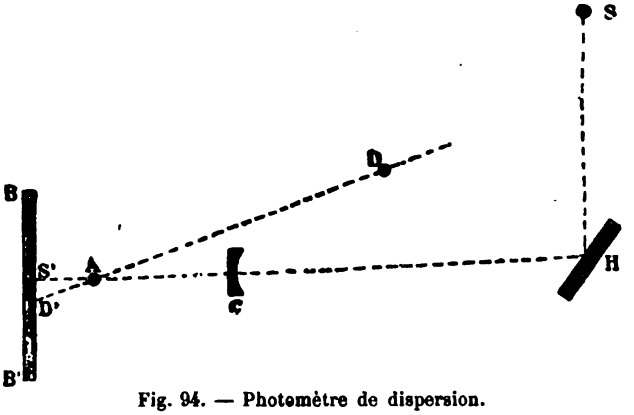


Fig. 94. — Photomètre de dispersion.

Comme on n'a pas à déplacer les lumières, on peut très facilement et très rapidement recommencer l'expérience, et la faire contrôler par plusieurs observateurs.

Photomètre de dispersion Ayrton et Perry. — Cet appareil est combiné pour permettre la mesure des foyers très intenses, comme ceux produits par l'arc, à l'aide d'une bougie étalon ordinaire. Il est basé sur le principe de l'égalité des ombres projetées sur un écran par deux sources de lumière; seulement, au lieu d'envoyer directement sur le corps opaque le faisceau lumineux du puissant foyer S (Fig. 94), on le projette sur un miroir argenté H placé obliquement, lequel renvoie ce faisceau sur une lentille concave C, qui disperse les rayons. La lumière de l'étalon D est directement envoyée sur le corps opaque B B'. C'est en l'appro-

chant ou en l'éloignant de l'écran A qu'on arrive à égaliser les ombres en D′ et S′.

On calcule ensuite l'intensité du puissant foyer par la formule :

$$L = \frac{1}{c^2} (D + \frac{d (D - d)^2}{f},$$

dans laquelle L est l'intensité cherchée ; D la distance du foyer au miroir, augmentée de la distance du miroir à l'écran ; d la distance de la lentille à l'écran ; f la distance focale de la lentille ; c la distance de la lumière étalon à l'écran.

Pour éviter des calculs compliqués, on joint à chaque appareil une table de réduction qui permet d'évaluer très simplement l'intensité cherchée.

Photomètre Wybauw. — M. Wybauw, ingénieur à Bruxelles, pour faire disparaître les inconvénients provenant des grandes différences d'intensité et de composition des lumières entre les foyers à comparer, a imaginé une ingénieuse disposition qui consiste à déterminer l'intensité d'un foyer lumineux d'après la quantité de lumière-type qu'il faut ajouter à deux éclairements inégaux de ce même foyer, dont on connaît préalablement le rapport.

Son appareil, étudié surtout au point de vue de la mesure de l'intensité lumineuse de l'arc voltaïque, se compose d'une boîte rectangulaire, noircie à l'intérieur, dans laquelle se trouvent deux miroirs inclinés à 45° sur la direction des rayons émis par le foyer à mesurer. Ces faisceaux lumineux, réfléchis sous le même angle, viennent frapper deux petits disques en papier blanc formant écrans, dont les images sont renvoyées par un miroir d'angle vers l'observateur. En même temps que la source électrique éclaire l'un et l'autre miroir, un des miroirs reçoit de l'étalon lumineux une certaine quantité de lumière jaune, de telle sorte que cette quantité, bien différente de celle de l'arc, se trouve noyée dans celle-ci et produit une uniformité de teinte qui rend plus facile la comparaison des deux écrans.

Une expérience préliminaire donne la quantité de lumière

émise par le foyer étalon ; on peut facilement évaluer l'intensité de la lumière de l'arc.

Photomètre Fizeau et Foucault. — On peut également comparer deux lumières entre elles par des moyens chimiques ; mais ces moyens, qui ne permettent l'examen que des foyers de même nature, et qui sont sujets à des erreurs notables, sont très peu employés.

Fizeau et Foucault comparaient deux arcs voltaïques en sensibilisant des plaques préparées à l'iodure d'argent. La plaque sensibilisée était placée dans une chambre noire, au foyer de la lentille, et on projetait sur elle l'image de la lumière. En produisant une image assez petite, il était possible de déplacer l'axe de l'appareil sans le faire sortir du plan focal, et, en soulevant l'écran pendant un certain temps mesuré par un chronomètre, on pouvait obtenir 5 ou 6 images successives. On traitait ensuite la plaque par des vapeurs de mercure, et on obtenait plusieurs images d'intensités différentes. On opérait de la même manière pour la lumière étalon, et on comparait ensuite les images obtenues.

Photomètre Siemens. — La curieuse propriété du sélénium, dont la résistance électrique varie sous l'action de la lumière, observée pour la première fois par M. May, a été mise à profit par M. Werner Siemens pour la construction d'un photomètre. Ce photomètre est formé d'un tube de cuivre noirci à l'intérieur. Une des extrémités de ce tube est munie d'un diaphragme et l'autre porte une plaque de sélénium qu'on peut exposer ou soustraire à l'action de la lumière au moyen d'un écran. La plaque de sélénium est reliée à une petite pile. L'appareil est complété par un galvanomètre à miroir du système Thomson.

La plaque de sélénium est exposée successivement à la lumière du foyer à mesurer et à celle de la bougie étalon, et on applique la règle du carré des distances dès qu'on a obtenu des résistances égales.

Photomètre Coulon. — Ce photomètre est basé sur l'emploi

du radiomètre de Crookes, dont les ailettes se meuvent sous l'action de la lumière.

L'appareil de M. Raimond Coulon se compose d'un globe de verre dans lequel le vide est soigneusement fait, et contenant un disque qui peut tourner librement sur un axe vertical. Une moitié de ce disque est peinte en blanc et l'autre moitié est recouverte de noir de fumée. Ce globe est placé dans une chambre cubique en métal, remplie d'eau et maintenue à une température uniforme. Au milieu de chaque face de la chambre se trouve une ouverture munie d'un verre; deux des ouvertures placées en face l'une de l'autre permettent d'examiner le radiomètre, tandis que les deux autres reçoivent les rayons lumineux qui tombent sur les ailettes. Sous l'action différentielle de ces rayons, le radiomètre se met à tourner. On arrête graduellement le mouvement en éloignant la lumière la plus puissante. Quand on a obtenu l'immobilité des ailettes, on note les distances respectives des lumières; on les change de côté en les plaçant aux mêmes distances de la chambre que primitivement, et on cherche de nouveau à immobiliser le radiomètre. On prend la moyenne des deux résultats et on a ainsi une mesure suffisamment exacte.

M. Coulon a étudié différentes dispositions fort ingénieuses pour rendre plus pratique l'emploi de son appareil. Nous ne les décrirons pas; nous tenions seulement à signaler l'emploi du radiomètre en photométrie, mais nous ne saurions en conseiller l'usage dans la pratique industrielle.

Mesure de la lumière de l'arc voltaïque. — L'arc produit une lumière qui dépend : 1° de l'intensité et de la nature des courants qui le produisent; 2° de la longueur de l'arc; 3° de la section et de la qualité des charbons employés.

Avec des courants alternatifs, les rayons ont à peu près la même intensité dans toutes les directions; tandis qu'avec des courants continus, la lumière répandue dans l'espace est très inégalement répartie autour du centre de l'arc.

Cette inégalité provient de la façon dont brûlent les charbons; le charbon positif, qu'on met généralement à la partie supérieure du régulateur, se creuse, tandis que le charbon négatif

se taille en pointe. Le creux du charbon positif forme une sorte de réflecteur naturel qui renvoie la lumière dans la région du bas. Les différences d'intensité sont considérables ; avec certains charbons, on constate souvent 100 unités horizontalement, 20 unités à 30 degrés au-dessus de l'horizontale, et jusqu'à 100 unités à 40 degrés au-dessous de l'horizontale.

Avec des crayons homogènes, mais brûlant très rapidement et ayant une faible section, on peut, avec un même courant, produire 3 ou 4 fois autant de lumière totale qu'avec des crayons denses, de grande section, s'usant très peu.

Ceci explique les différences considérables qu'on signale dans les notices rédigées par les constructeurs et même dans les expériences réalisées par d'intègres professeurs.

Pour éviter des appréciations erronées, après une étude assez complète de la question, nous avons proposé d'évaluer la lumière à arc, provenant des courants continus, en mesurant l'intensité horizontalement et en doublant le résultat obtenu. Le Jury de l'Exposition internationale de 1881 avait établi la formule suivante, en se basant sur 14 expériences :

$$S = \frac{H}{2} \times \frac{M}{4},$$

dans laquelle S est l'intensité moyenne sphérique, H l'intensité horizontale, M l'intensité maxima.

M. Hefner-Alteneck proposait de prendre l'intensité à 30 degrés en dessous de l'horizontale, sous le judicieux prétexte que c'est entre 20 et 40 degrés que la lumière est le plus généralement utilisée.

Pour plus de simplicité, les principaux constructeurs désignent aujourd'hui la puissance des régulateurs par le nombre d'ampères du courant qui les alimente.

Il n'est pas cependant sans intérêt d'indiquer quelques-unes des méthodes employées pour la mesure des intensités lumineuses de l'arc voltaïque dans diverses directions.

Méthode par lumière directe. — En 1878, nous avons entre-

pris une série d'expériences photométriques dans le but de comparer entre eux les charbons de cornue et les charbons artificiels alors dans toute leur nouveauté, et de rechercher le meilleur mode d'emploi des dynamos Gramme à l'éclairage électrique. Incidemment nous avons été amené à étudier la répartition lumineuse dans le champ d'un foyer à arc, et nous avons disposé notre appareil de la manière suivante :

Entre les bras d'un support en fonte oscillait un châssis portant sur ses côtés horizontaux les baguettes de charbon. Au support était fixé un secteur gradué sur lequel une aiguille indicatrice, faisant corps avec le châssis, permettait de lire l'inclinaison des charbons sur la verticale.

Nous ajustions bien les crayons ; nous les laissions brûler jusqu'à ce que le creux du positif fût bien formé et que l'arc fût bien à sa longueur normale, et nous prenions les mesures photométriques au moyen d'un photomètre Foucault et d'une lampe Carcel montée sur une règle graduée à coulisse. Ces mesures étaient prises sous diverses inclinaisons du châssis, très rapidement, afin de ne pas laisser la taille des crayons s'altérer. Après chaque mesure, nous remettions le châssis verticalement et nous vérifiions rigoureusement la longueur de l'arc en la projetant sur un écran.

Méthode par lumière réfléchie. — MM. Sautter et Lemonnier se servaient dans le même but d'un support fixe, qui permettait de mesurer les intensités lumineuses tout autour de l'arc, sans incliner les crayons.

L'appareil se composait d'un pied vertical portant des guides entre lesquels se déplaçait le chariot qui recevait le régulateur à arc. Ce chariot était maintenu à hauteur convenable au moyen de deux vis. Un index déterminait la hauteur du point lumineux. Au lieu de mesurer directement la lumière, on mesurait les rayons réfléchis par un miroir coulissant sur une règle graduée et pouvant prendre l'inclinaison convenable pour éclairer l'écran du photomètre.

On prenait d'abord une mesure horizontale directe, puis une série de mesures obliques, en changeant la position du miroir de

manière à l'amener successivement en face de chacune des divisions de l'échelle. Ces divisions correspondent à des angles d'émission augmentant de 10 en 10 degrés. On corrige les résultats obtenus en les multipliant par le coefficient de réflexion du miroir qu'on doit avoir soin de déterminer exactement et de vérifier de temps en temps.

M. Hefner-Alteneck procède à peu près de la même manière : sur les deux montants qui supportent le charbon inférieur (Fig. 95) est fixé un arc métallique D portant un bras coudé qui lui-même sert de support à un miroir S. Le bras A peut tourner autour d'un

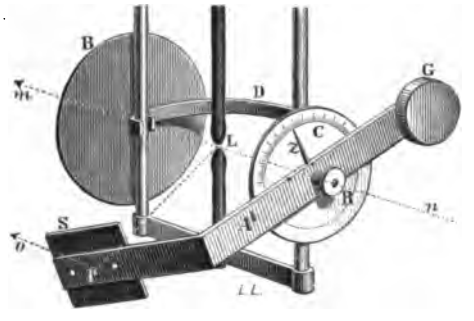


Fig. 95. — Appareil Hefner-Alteneck.

axe R en entraînant un index Z qui indique sur un cadran C l'angle fait par le miroir avec l'horizontale *m n*.

Les rayons envoyés dans le photomètre sont ceux réfléchis par le miroir S suivant l'angle L *p o* qui est toujours un angle droit. Un écran opaque B empêche les rayons directs de tomber sur le photomètre.

Comme dans l'appareil précédent, il faut mesurer le coefficient d'absorption du miroir après avoir mesuré sous divers angles l'intensité des rayons réfléchis. On y arrive en laissant tomber sur le photomètre les rayons réfléchis par le miroir, puis en tournant la lampe de 90° autour de son axe vertical, de manière à diriger les rayons directs sur le photomètre. Le rapport des deux intensités observées donne le coefficient de réflexion cherché.

Mesure de l'intensité des lampes à incandescence. — Bien

que les différences de rayonnement d'une lampe à incandescence soient incomparablement moins grandes que celles d'une lampe à arc voltaïque, elles sont cependant assez importantes pour nécessiter des mesures photométriques dans diverses directions.

Ces mesures peuvent d'ailleurs s'effectuer très facilement et sans appareils spéciaux.

En général on désigne l'intensité des lampes à incandescence par la moyenne des intensités prises horizontalement.

Mesure de la lumière diffuse. — Tous les appareils que nous venons de décrire ont été combinés pour comparer un foyer lumineux à un autre foyer lumineux pris pour unité. Le problème qui consiste à mesurer le degré de clarté obtenue dans les diverses parties d'un local est essentiellement différent et présente souvent une plus grande importance que la mesure directe des foyers.

Étant donnée une salle éclairée par une série de foyers, si l'on voulait déterminer par le calcul l'intensité de l'éclairement d'une table placée à un endroit quelconque de la salle, on rencontrerait de grandes difficultés, car il faudrait faire intervenir la position et la distance de chaque foyer, la diffusion des murs et des plafonds, etc.; mais il existe des photomètres d'un emploi facile qui mesurent la lumière diffuse avec une assez grande précision. Parmi ces photomètres, nous citerons spécialement ceux de MM. Mascart et Weber que nous avons eu l'occasion d'employer avec succès et que nous allons décrire avec d'autant plus de détails que nous voudrions en voir l'usage se répandre dans toutes les manufactures, les théâtres, les administrations publiques, et surtout dans les maisons d'éducation où l'on fatigue la vue des enfants, faute de savoir éclairer convenablement les salles d'études.

Unité de lumière diffuse. — L'unité de lumière diffuse est celle produite par l'étalon lumineux dans une pièce obscure, sur une feuille de papier blanc placée à un mètre de distance du foyer.

Dans la pratique on prend comme unité tantôt la *bougie-mètre*

et tantôt le *carcel-mètre*; c'est cette dernière dont nous nous servons, à cause des différences notables existant entre les bougies des diverses contrées.

Lumière nécessaire pour lire et écrire. — La lumière nécessaire pour lire est d'autant plus intense qu'on veut lire plus vite et moins se fatiguer la vue. M. Javal a constaté que, sur une page d'imprimerie éclairée par une bougie à un mètre, une bonne vue peut lire des caractères n° 7 à $0^m,70$ de la page; des caractères n° 8 à $0^m,80$; des caractères n° 9 à $0^m,90$; des caractères n° 10, comme ceux du présent livre, à 1 mètre. — M. Weber a reconnu que la rapidité de la lecture était en raison directe du degré d'éclairement; qu'en une minute, par exemple, une personne, qui lit six lignes d'un ouvrage éclairé par $\frac{1}{5}$ de carcel-mètre, en lit douze dans le même laps de temps, si l'ouvrage est éclairé par un carcel-mètre.

M. Cohn, qui a écrit un excellent livre sur la matière, évalue la lumière du jour, sur une table bien exposée, à 6 carcels-mètres, et il estime que le minimum nécessaire *hygiéniquement*, pour lire et écrire sans fatigue anormale, doit être de 1,2 carcel-mètre. D'après nos observations personnelles, la limite qu'on ne devrait jamais dépasser dans les écoles, les bureaux et dans tous les locaux où l'on est obligé de lire et d'écrire, est 1 carcel-mètre.

Il est à désirer qu'on fasse des recherches expérimentales pour connaître quelle est la lumière diffuse nécessaire à l'éclairage des locaux les plus divers : gares, manufactures, ateliers de construction, théâtres, etc., etc.; cela faciliterait beaucoup les études relatives aux installations d'éclairage. On arriverait ainsi à économiser de la lumière dans les parties où l'on n'a besoin que d'une faible intensité, tout en en fournissant davantage là où cela serait nécessaire.

Photomètre Weber. — Ce photomètre, représenté (Fig. 96), se compose d'un tube fixe A, d'un tube mobile B perpendiculaire

au premier, d'un support et d'une boîte qui renferme l'appareil quand on ne l'utilise pas, et qui lui sert de socle quand on s'en sert.

Le tube A porte à l'une de ses extrémités une petite boîte destinée à recevoir une lampe à benzine. A l'autre extrémité du tube se trouve un cercle gradué.

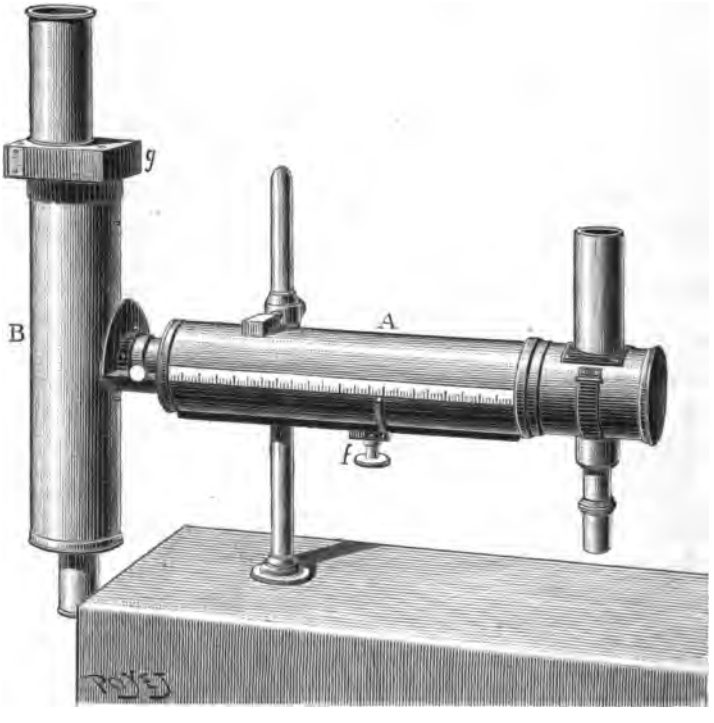


Fig. 96. — Photomètre Weber.

Un anneau portant un disque de verre laiteux est placé dans l'intérieur du tube A. Une vis permet d'avancer ou de reculer cet anneau par rapport à la lampe, et une échelle graduée permet de lire à chaque instant la distance qui sépare la flamme du disque en verre. Le courant d'air qui pénètre dans la lampe à benzine est réglé au moyen d'un disque placé sur le tube A, et la hauteur de la flamme de cette lampe peut également être réglée très exactement par un bouton qui se manœuvre de l'extérieur (cette

hauteur de flamme peut se lire grâce à une échelle graduée fixée à un petit miroir et à une fente garnie de mica, ménagée sur les parois de la boîte).

L'intérieur du tube A est noirci avec soin.

Le tube mobile B, qui est représenté avec l'oculaire en bas, peut se mouvoir à l'aide d'une vis sans fin, de manière à ce que son axe arrive à 180 degrés de sa position primitive, c'est-à-dire à ce que l'oculaire soit en haut. Un secteur gradué indique son inclinaison par rapport à une perpendiculaire au tube A. Au milieu du tube B se trouve un prisme de réflexion ayant une face tournée dans la direction du tube A et l'autre vers l'oculaire. Grâce à ce prisme, la lumière, réfléchie par le disque, arrivera toujours à l'œil de l'observateur, quelle que soit la position du tube B.

A l'extrémité du tube B opposée à l'oculaire, se trouve une boîte métallique quadrangulaire *g*, sur laquelle on place un tube destiné à arrrêter les rayons lumineux venant de côté. Dans la boîte *g*, on met latéralement une ou plusieurs plaques de verre laiteux. La lumière, qui vient de ce point à l'oculaire, traverse la partie gauche du champ de vision. Afin de ne laisser tomber aucun rayon lumineux, venant de cette direction, sur l'hypoténuse du prisme, on a placé un écran qui va de la boîte *g* au prisme. Un second écran, à échancrure ovale, est disposé du côté de l'oculaire, obliquement au prisme, de telle sorte que l'arête du prisme divise le champ de vision en deux parties égales, l'une à droite, l'autre à gauche.

En regardant par l'oculaire, on voit à droite la lumière de l'étalon et à gauche celle de la source à mesurer. Si ces deux lumières ont la même couleur et la même intensité, les deux parties du champ de vision se fondent en un champ uniforme traversé par une ligne de démarcation à peine visible.

La boîte qui sert de support est disposée de telle sorte qu'on puisse y fixer solidement toutes les parties de l'appareil. Une série de lames rouges et vertes permet de varier les expériences suivant la couleur de la lumière à mesurer. Un second prisme de réflexion, annexé à l'appareil, sert aux mesures des lumières venant perpendiculairement ou obliquement.

On peut, avec ce photomètre, prendre des mesures de trois catégories :

1° Mesures d'intensité de sources lumineuses réduites à un point et ayant la même couleur que la flamme de benzine;

2° Mesures de la lumière diffuse de même couleur que la flamme de benzine;

3° Mesures de sources lumineuses, directes ou diffuses, dont la couleur diffère de celle de la flamme de benzine.

Pour les lumières réduites à un point, on dirige le tube B sur la flamme à mesurer, après avoir mis dans la boite *g* une plaque de verre laiteux et avoir placé cette flamme à 1 mètre ou à 2 mètres de ladite plaque en verre laiteux. On regarde alors par l'oculaire et on approche ou on éloigne le disque de verre renfermé dans le tube A jusqu'à ce que les deux surfaces éclairées dans le champ de vision aient la même intensité. Puis, on note la distance de la lampe de benzine au disque de verre et on calcule l'intensité cherchée par la formule

$$x = \frac{D^2}{d^2} C,$$

D étant la distance de la source lumineuse qu'on mesure à la plaque de la boîte *g*; *d* la distance de la lampe à benzine au disque de verre ; et C un coefficient relatif à la plaque employée dans la boîte *g* et calculé une fois pour toutes.

Pour mesurer l'intensité d'une lumière diffuse, à un emplacement donné, on dispose sur cet emplacement une feuille de papier d'un blanc mat, en l'inclinant légèrement pour faciliter l'expérience.

On dirige le tube B normalement au centre de cette feuille de papier, marqué d'une petite croix. Pour cela on enlève tous les verres de la boîte *g* et on place le tube B de manière à ce que le centre de la surface blanche tombe au centre de la partie gauche du champ de vision. On règle ensuite la flamme de benzine et on équilibre les intensités lumineuses. Pour les emplacements très éclairés, on ajoute dans la boîte *g* la plaque numé-

rotée 1; puis, si elle ne suffit pas, on la remplace par la plaque n° 2.

Pour mesurer des lumières de couleurs différentes, on dispose d'abord l'appareil comme précédemment, puis on cherche l'égalité d'éclairement au moyen d'un verre rouge qu'on place devant l'oculaire; on fait la même opération au moyen d'un verre vert; et on multiplie le quotient des résultats obtenus par un coefficient variable, indiqué sur un tableau qui accompagne l'instrument.

Remarque. — Les appareils décrits dans ce chapitre donnent bien, au point de vue de l'éclairement, une indication exacte de la puissance relative d'un foyer étalon et d'un foyer considéré; mais, à éclairage photométriquement égal, il est certain que des sources lumineuses aussi différentes qu'une lampe à huile, une bougie, un bec de gaz, un régulateur électrique, ne produisent pas sur l'œil la même impression.

Sans parler des différences considérables existant dans le sens de la vue suivant les individus, sans tenir compte des phénomènes très répandus de daltonisme, de la perception plus ou moins parfaite de certains rayons lumineux, et de l'impressionnabilité plus ou moins grande de l'œil pour ces rayons, une foule de circonstances secondaires ou accessoires modifient, pour un même individu, l'impression produite par un même foyer lumineux et, à plus forte raison, par des sources lumineuses différentes. L'œil humain, malgré sa merveilleuse délicatesse, est donc souvent un mauvais photomètre, et il ne faut pas s'étonner des grandes différences qui existent dans l'appréciation de deux expérimentateurs opérant sur les mêmes foyers, avec les mêmes instruments.

Indépendamment de l'influence bien connue du milieu ambiant et des surfaces environnantes plus ou moins absorbantes ou réfléchissantes, telles que glaces, tentures, couleurs, etc., une question inconsciente de goût ou d'habitude vient souvent modifier l'appréciation du pouvoir éclairant, selon la richesse du foyer en rayons de telle ou telle couleur. La forme et les dimensions du point lumineux, l'angle d'incidence des rayons

émis, jouent également un rôle très important dans l'impression produite sur l'œil. Aussi n'est-il pas rare de voir la substitution d'un éclairage à un autre, absolument identique comme nombre, puissance et répartition des foyers, donner un résultat absolument différent et exiger après essai un remaniement complet.

Ajoutons qu'il est bon de se mettre en garde contre des impressions premières souvent erronées, et d'attendre, pour juger la valeur d'un nouvel éclairage, qu'on se soit un peu familiarisé avec lui.

DEUXIÈME PARTIE

APPAREILS INDUSTRIELS

CHAPITRE IX

DYNAMOS A COURANT CONTINU

Machine Gramme. — C'est M. Gramme qui a conçu, étudié et exécuté de ses mains la première dynamo industrielle ; c'est également lui qui, le premier, a fait des installations d'éclairage électrique dans des conditions pratiques et satisfaisantes.

Ce double titre nous ferait déjà un devoir de commencer l'étude des dynamos par la description des appareils Gramme, si nous n'avions d'ailleurs pour procéder ainsi une raison encore plus puissante.

Il y a dix-huit ans que M. Gramme a exécuté sa première machine. Pendant les dix-huit années qui viennent de s'écouler, des savants éminents de tous les pays ont établi plusieurs théories de cette machine et ont indiqué les moyens d'en tirer le meilleur parti possible; un grand nombre d'électriciens, d'ingénieurs et de constructeurs distingués ont imaginé et réalisé toutes sortes de combinaisons ayant pour but d'obtenir un grand rendement et de créer des types en apparence originaux. On compte, aujourd'hui, plusieurs milliers de dynamos de toutes formes et de toutes puissances, installées par d'autres électriciens que M. Gramme, et fonctionnant dans d'assez bonnes conditions. Eh bien! malgré tous ces efforts, toute cette dépense d'intelligence et de travail, la machine Gramme est encore aujourd'hui le meilleur générateur

d'électricité connu. C'est donc d'elle qu'il nous faut nécessairement parler tout d'abord.

Construction des machines Gramme. — L'anneau de l'induit est constitué au moyen d'un fil de fer, trempé dans du bitume et enroulé en un tore circulaire aplati sur un mandrin en deux pièces. Le tore ainsi formé est ensuite garni de matières isolantes, séché au four, et tourné extérieurement.

Les spires de cuivre qui recouvrent l'anneau ne sont pas simples, comme l'indique la figure 25; elles sont généralement formées de plusieurs couches superposées. L'anneau est divisé en

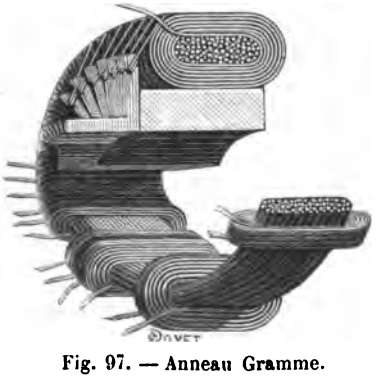


Fig. 97. — Anneau Gramme.

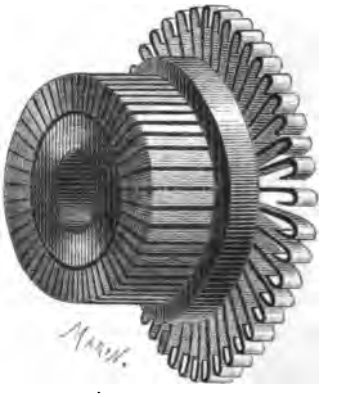


Fig. 97 *bis*. — Collecteur Gramme.

un nombre pair de sections, et, sur chaque section, les spires constituent une bobine partielle reliée à deux lames du collecteur.

Ce collecteur, un des organes les plus importants de la machine Gramme, se compose d'une série de lames de cuivre taillées en coin, isolées entre elles avec du mica, du carton, ou tout autre corps mauvais conducteur de l'électricité, puis réunies en un cylindre unique, lequel est fretté au moyen d'une bague également isolée. A chaque lame du collecteur est soudée une petite lamelle en cuivre terminée par un crochet. Il y a autant de lames dans le collecteur que de bobines partielles sur l'anneau.

Le bout entrant d'une bobine et le bout sortant de la bobine suivante sont soudés ensemble à une des lamelles à crochet, et il en est de même de toutes les extrémités des bobines, de sorte

que, quand toutes les soudures sont opérées, le collecteur et l'anneau garni de fils ne forment plus qu'une seule et même pièce. Entre deux lames opposées du collecteur il y a une longueur de fil égale à la moitié du fil total existant autour de l'anneau. Cette longueur de fil représente une résistance en ohms, toujours la

Fig. 98. — Bobine Gramme.

même, quelles que soient les lames sur lesquelles s'opère la constatation de cette résistance.

On peut donc recueillir le courant sur le collecteur, exactement comme cela avait lieu sur la bobine elle-même (Fig. 25).

La figure 97 donne une idée assez exacte de l'assemblage du fer doux, des bobines partielles et du collecteur, et la figure 97 *bis*, du collecteur pris isolément.

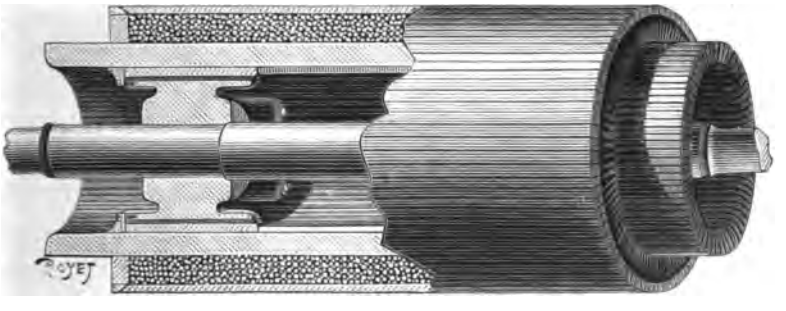


Fig. 99. — Bobine Gramme à grand débit.

Lorsque cet assemblage est terminé, on ajuste l'ensemble de la bobine sur un axe en acier (Fig. 98) au moyen d'un manchon à ailettes en bronze, claveté, ou d'un tambour en bois bien sec, emmanché à la presse hydraulique.

Pour les machines à grand débit, M. Gramme a été amené à construire ses bobines avec de véritables barres de cuivre, au lieu de fil rond ordinaire (Fig. 99).

Ces bobines sont établies de la manière suivante : sur deux rondelles en cuivre, garnies de plusieurs entailles et clavetées sur l'arbre, se trouve placée une série de longues barres de cuivre isolées entourant le fil de fer. Les barres extérieures et intérieures, en nombre égal, sont réunies ensemble au moyen de traverses rayonnantes, de manière à former un conducteur unique, sans fin, comme dans le cas des bobines exécutées avec du fil rond enroulé sur l'anneau.

Les extrémités du cylindre intérieur formé par ces barres dépassent le corps de la bobine; elles sont tournées avec soin et forment deux collecteurs pour recueillir les courants, soit ensemble, soit séparément. Le second peut être mis en service après usure du premier.

Tous les matériaux employés dans les bobines Gramme sont de premier choix. Le fil de fer est bien doux et bien recuit ; le cuivre a une conductibilité presque égale à celle du métal chimiquement pur; tous les isolants sont essayés avant l'emploi, et leur qualité ne laisse rien à désirer.

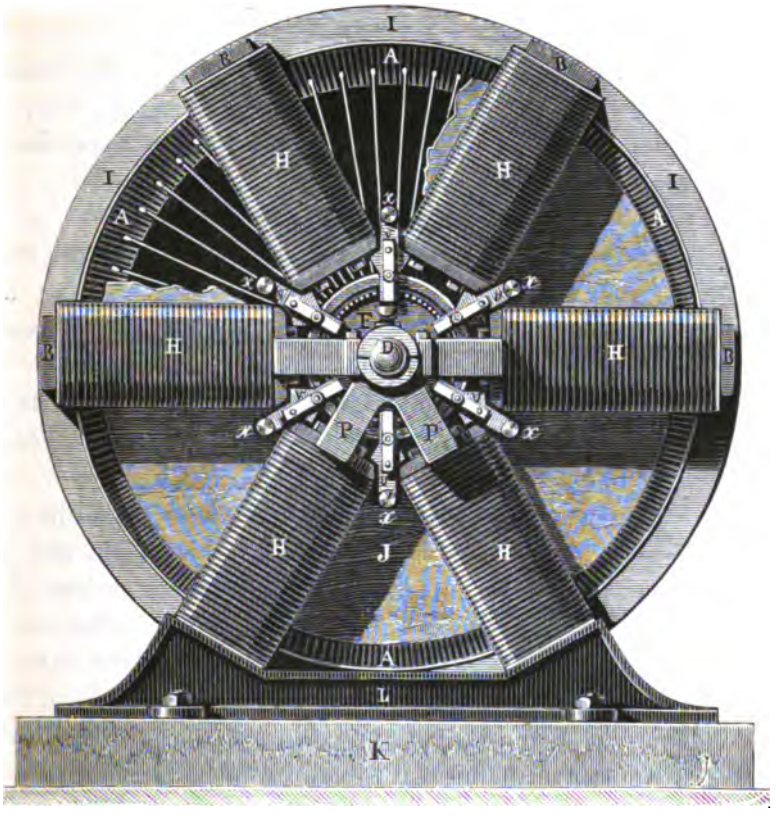
Balais. — Pour recueillir les courants, M. Gramme a imaginé une sorte de frotteur élastique, composé d'un faisceau méplat de fils de cuivre argentés, auquel il a donné le nom de *balai*.

Ces balais sont maintenus dans des gaines, articulées au bâti même de la dynamo ou mieux à une pièce spéciale pouvant osciller autour de l'arbre sur lequel la bobine est calée.

Avant d'être mis en service, les balais sont usés légèrement à la meule, de manière à ce que leur partie frottante épouse bien la surface extérieure du collecteur. L'étendue du contact doit être suffisante pour que le balai touche deux lames du collecteur à la fois, au moment où il passe d'une lame à l'autre ; sans cela, il y aurait interruption du courant chaque fois qu'il frotterait sur les isolants qui séparent les lames.

Les balais touchent le collecteur exactement sur la ligne neutre, autrement dit sur le plan de partage magnétique. S'il en était autrement, le courant fourni par la dynamo à une vitesse déterminée serait moins intense : une partie de chacun des courants partiels provenant d'une moitié des fils de la bobine étant

employée à détruire une partie égale du courant provenant de l'autre moitié.



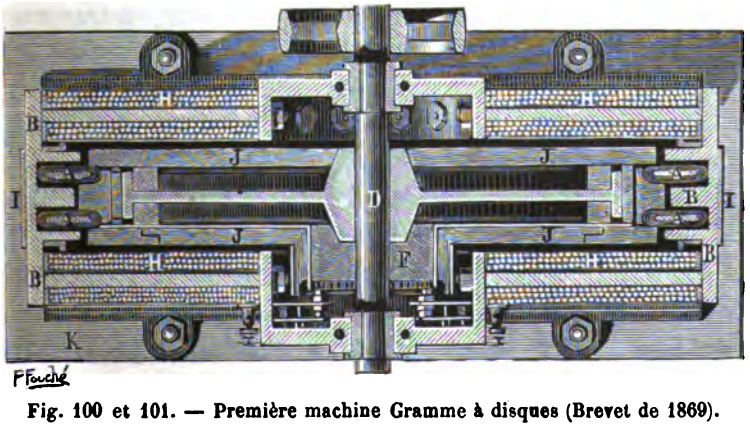


Fig. 100 et 101. — Première machine Gramme à disques (Brevet de 1869).

Quand la machine est en mouvement, la ligne neutre n'est

pas normale à la ligne axiale des pôles de l'inducteur, car l'anneau de fer et le courant induit déplacent les lignes de force du champ magnétique, et le plan de partage s'incline dans le sens de la rotation. L'angle, que la ligne neutre définitive fait avec la normale à la ligne axiale des pôles de l'inducteur, s'appelle *angle de calage*. Il se détermine expérimentalement pour chaque type de dynamo.

Machine Gramme de 1869. — Dans son brevet de 1869, M. Gramme décrit cinq dynamos. Nous en reproduisons une (Fig. 100 et 101), telle qu'elle est représentée dans ledit brevet. Voici la description donnée par l'inventeur :

« Cette troisième machine se compose d'électro-aimants H, formant bâti et agissant sur deux disques AA′ mobiles, recouverts de conducteurs.

« Les disques sont d'une seule pièce en fer doux, ou ils sont formés par l'enroulement d'un ruban de fer plat ayant une largeur égale à l'épaisseur des disques. Les spires seraient alors collées ensemble avec de la résine. Ils sont emmanchés sur un cercle en bois F, qui porte sur sa circonférence une roue en bronze, et sont maintenus par des disques JJ′ également en bois.

« L'enroulement des bons conducteurs forme, sur chaque disque A, 90 petites bobines unies entre elles comme celles des deux premières machines ; mais les 90 bouts de conducteurs sortant des bobines du disque A viennent se réunir, en traversant le cercle en bois, aux 90 conducteurs auxquels les bouts sortant des bobines du disque A sont soudés.

« Un des disques en bois J porte un renforcement cerclé et percé cylindriquement, dans l'intérieur duquel les conducteurs sont maintenus par le manchon F qui est traversé par l'arbre D sur lequel est fixée la poulie de commande.

« Les électro-aimants H se composent de 12 fortes bobines, 6 de chaque côté de la machine ; elles sont boulonnées par leurs fers à deux hexagones, PP′, par un de leurs bouts, et, par l'autre bout, elles sont réunies deux par deux par des armatures B. Elles sont couplées de manière que les armatures B unissent des pôles de même nom, et, qu'en suivant la circonférence, chaque bobine

ait un pôle de nom contraire. Il suit de là que les armatures B sont les pôles des électro-aimants, et que les disques A A′ ne sont magnétisés que par 6 pôles : 3 boréaux et 3 austraux alternés.

« Les deux armatures B des bobines H inférieures sont vissées solidement à deux pièces de laiton L qui sont boulonnées au plateau en bois K. Toutes les armatures B sont réunies par des plaques I en laiton, formant une gorge circulaire de manière à cacher en partie les disques A.

« Les hexagones P P′ qui sont en fonte malléable portent les coussinets de l'arbre D, et dans les 6 angles intérieurs de l'hexagone P sont vissés sur un corps isolant les porte-frotteurs V qui se prolongent extérieurement par des entailles ménagées dans les angles de l'hexagone. Sur le prolongement des porte-frotteurs sont vissées des bornes x.

« Ainsi, dans cette machine, il y a six frotteurs, dont 3 permettent l'écoulement des courants positifs et 3 autres l'écoulement des courants négatifs.

« Une partie de ces courants sert à charger les électro-aimants qui sont faits en fer propre à conserver le magnétisme ; l'autre partie des courants peut être employée. »

M. Gramme ajoute qu'on peut augmenter ou diminuer le nombre des pôles, ne mettre qu'un seul disque, mettre un anneau plat au lieu d'un disque, rendre le disque fixe et faire tourner les inducteurs, etc., etc.

Nous avons reproduit un fragment du brevet principal de M. Gramme pour montrer que l'invention des disques induits sur les deux faces n'appartient pas à un constructeur allemand, comme beaucoup d'auteurs se sont plu à le dire.

On trouve d'ailleurs, dans les anciens brevets de M. Gramme, une grande partie des dispositions mécaniques qui ont été depuis réinventées et mises en œuvre par d'autres constructeurs.

Machine Gramme verticale. — La première machine à lumière exécutée par M. Gramme alimentait un régulateur de 900 becs-carcel; son poids total était de 1 000 kilogrammes. Elle possédait 3 anneaux mobiles et 6 barres d'électro-aimants. Un des an-

neaux excitait l'inducteur ; les deux autres produisaient le courant utilisable.

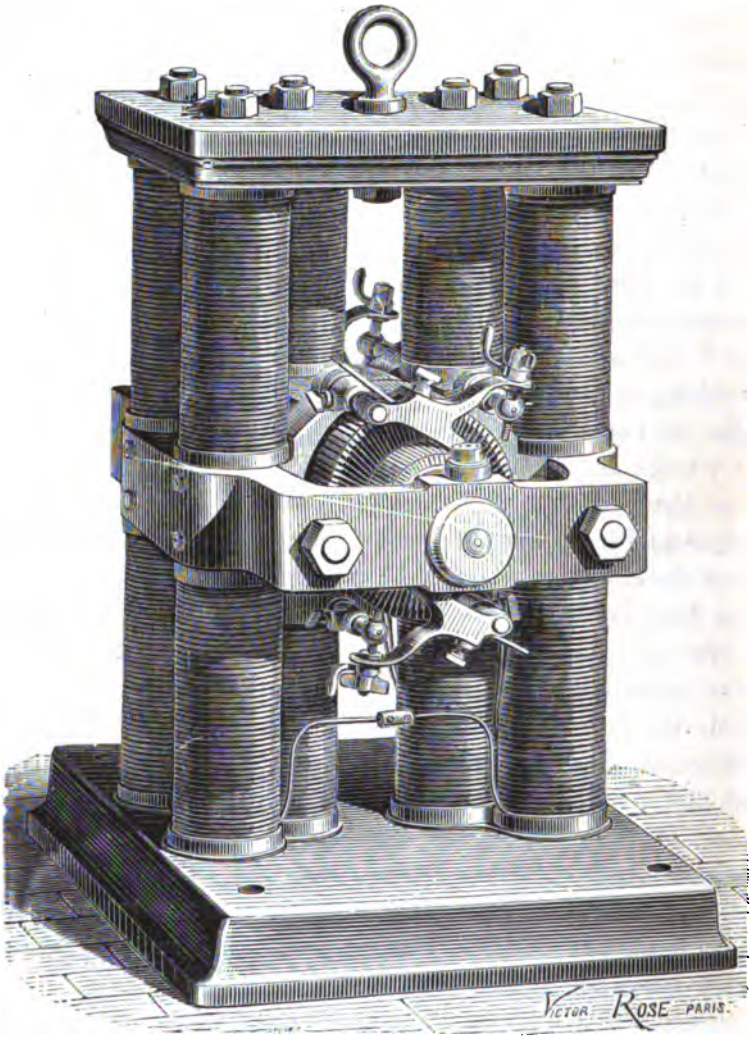


Fig. 102. — Machine Gramme verticale.

Le cuivre total enroulé sur les 3 anneaux pesait 75 kilogrammes ; celui garnissant l'inducteur, 250 kilogrammes.

L'emplacement nécessité par la machine était de $0^m,80$ sur $1^m,25$.

C'est avec cette machine que M. Cooke a exécuté, en 1873, ses

belles expériences de projections lumineuses du haut de la tour de Westminster, à Londres.

Dans le courant de la même année, M. Gramme combina pour les navires une machine un peu moins puissante que nous représentons (Fig. 102).

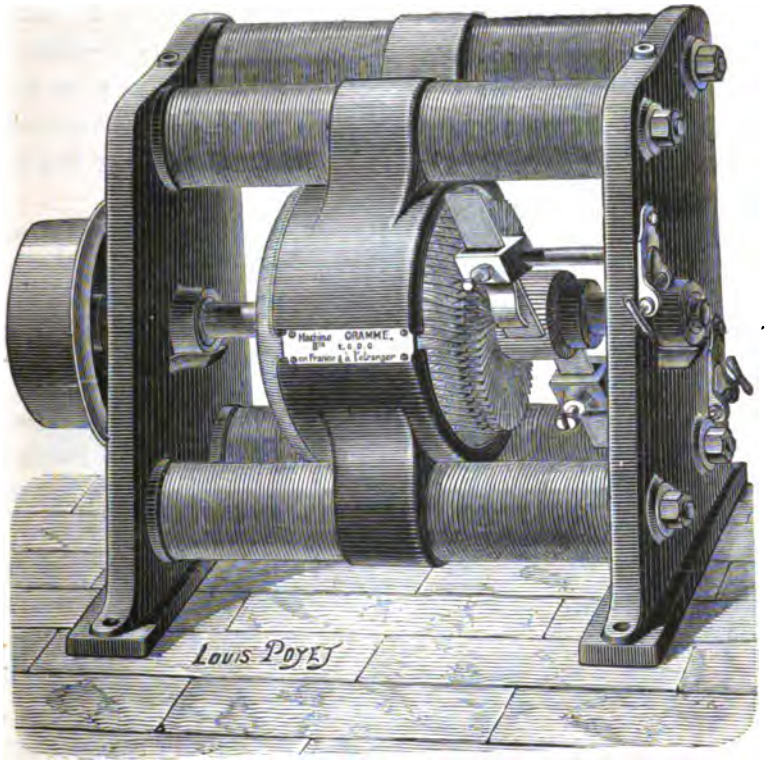


Fig. 103. — Machine Gramme horizontale.

La forme verticale était conservée, les barres d'électro-aimants, toujours au nombre de six, étaient placées en triangles; il y avait deux anneaux induits au lieu de trois. Les induits étaient disposés de telle sorte que le courant total pouvait traverser l'inducteur ou que l'excitation de celui-ci provenait du courant d'un seul anneau. Chaque anneau produisait une lumière séparée; le couplage parallèle des deux anneaux additionnait les courants qui produisaient alors une seule lumière d'une grande intensité. La vitesse normale était de 400 tours par minute.

L'appareil complet pesait 700 kilogrammes ; sa hauteur était de $0^m,90$; sa largeur de $0^m,65$. Le poids du cuivre enroulé sur les barres d'électro-aimants était de 180 kilogrammes; celui des deux anneaux, de 40 kilogrammes. Il produisait une lumière normale de 550 becs, qui s'est élevée, dans des expériences à grande vitesse, jusqu'au double. Quand on envoyait le courant dans deux régulateurs, chacun d'eux donnait 200 becs-carcel.

Cette machine a été installée à bord du *Suffren* et du *Richelieu*, de la marine française ; de la *Livadia* et du *Pierre-le-Grand*, de la marine russe. Plusieurs États l'ont adoptée pour le service des places fortes et de la défense des côtes.

Pour satisfaire au désir du Ministère de la Marine qui demandait des machines moins lourdes et d'un prix moins élevé, M. Gramme a étudié une dynamo ayant 4 barres d'électro-aimants disposées horizontalement, et un seul anneau mobile (Fig. 103).

Cette dynamo, qui est aujourd'hui très répandue dans les services publics de la guerre et de la marine, se compose de deux flasques verticales en fonte, réunies par 4 barres rondes en fer servant d'âmes aux électro-aimants. La garniture de l'anneau, au lieu d'être formée d'un fil unique et d'un seul collecteur, est formée de deux fils de même longueur enroulés parallèlement sur le fer doux, et reliés à deux collecteurs de prise de courant.

L'enroulement des fils sur l'anneau est ainsi fait que les choses se passent exactement comme si on avait deux bobines complètes l'une à côté de l'autre. Accouplées en tension, ces bobines donnent une intensité lumineuse de 800 carcels, à 700 tours par minute. Accouplées en quantité, elles alimentent un régulateur atteignant 2 000 carcels, à 1 350 tours par minute.

Les pièces polaires sont très développées ; elles embrassent les sept huitièmes de la circonférence totale de l'induit. Les balais sont au nombre de quatre. L'inducteur est dans le circuit. L'induit double est relié à 120 lames de collecteurs, 60 de chaque côté. Son diamètre extérieur est de $0^m,230$.

Les barres ou âmes de l'inducteur ont $0^m,40$ de long et $0^m,07$ de diamètre. Le fil de l'induit pèse 14 kilogrammes, et celui de l'inducteur, 96 kilogrammes.

Le poids total de la machine est de 400 kilogrammes.

La longueur de la machine, poulie comprise, est de $0^m,800$; sa largeur, de $0^m,550$; et sa hauteur, de $0^m,585$.

Cette dynamo a été principalement manufacturée par la maison Sautter et Lemonnier, qui a fourni l'ensemble du matériel de projection aux ministères français, à la marine et à l'artillerie autrichiennes, aux gouvernements russe, norvégien, danois, espagnol, etc., etc.

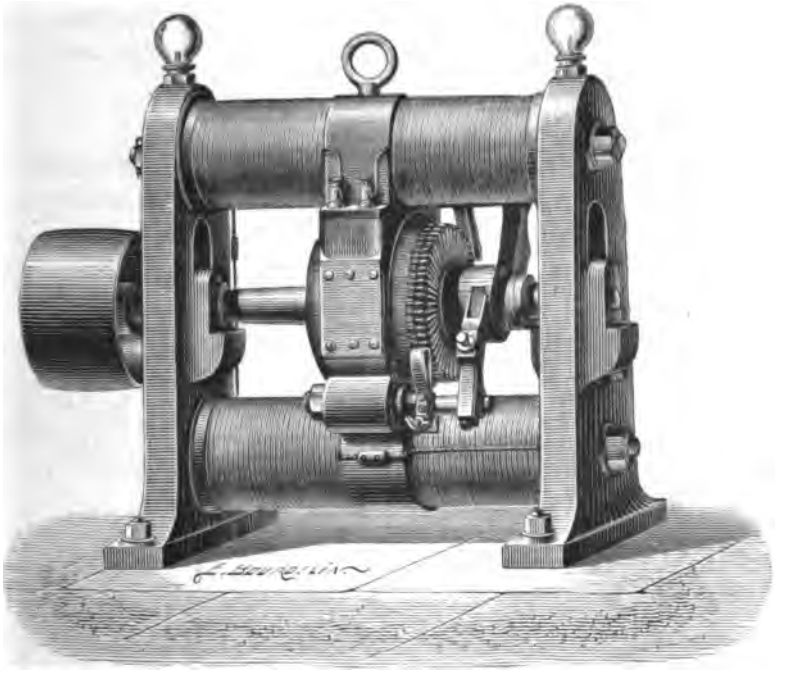


Fig. 104. — Machine Gramme (type normal).

Machine type normal. — Tout en poursuivant les études de puissantes dynamos, destinées aux arts militaires, M. Gramme réalisait, dès 1873, la machine représentée (Fig. 104), qui a été longtemps la seule dynamo *commerciale*, et qui est encore aujourd'hui la plus répandue en Europe. Cette dynamo est connue sous les noms de *type normal* et de *type d'atelier*.

Comme aspect général, cette machine ressemble beaucoup à la précédente; elle a deux flasques verticales servant de bâti, de paliers et d'entretoises magnétiques, deux pièces polaires

transversales et un seul anneau. L'inducteur n'a que deux barres rondes au lieu de quatre, et la bobine, un seul collecteur au lieu de deux. En régime ordinaire, cette machine donne, à la vitesse de 900 tours par minute, un courant de 25 ampères sous 75 volts.

Sa hauteur est de $0^m,60$; sa largeur, de $0^m,35$; sa longueur totale, de $0^m,65$. Le cuivre de l'inducteur pèse 28 kilogrammes ; celui de l'induit, 4 kilogrammes.

Le poids total de la machine est de 180 kilogrammes.

L'inducteur est excité tantôt par le circuit total, tantôt par une dérivation prise aux bornes de la machine.

Machine à cinq lumières. — En 1878, M. Gramme, ayant terminé l'étude de son régulateur à électro-aimant intermittent, construisit une machine spéciale pour placer plusieurs arcs dans le même circuit. Cette machine (Fig. 105) a été désignée sous le nom de *machine à cinq lumières*, du nombre de régulateurs qu'elle alimentait le plus généralement.

Voici quelques-unes des particularités qu'elle présente sur les précédentes :

Les âmes d'électro-aimants sont en fer plat, au lieu d'être cylindriques.

Le graissage des coussinets est obtenu par de petits réservoirs d'huile placés sur les bâtis et par deux boîtes à suif venues de fonte avec les flasques. Ce suif reste solide tant que la température des coussinets reste au-dessous d'un nombre de degrés donné ; il fond lorsque cette température est atteinte et empêche ainsi le grippement des portées de l'arbre.

Le collecteur est fixé sur son manchon au moyen d'un anneau de cuivre alésé en cône et d'une série de vis pénétrant dans le manchon. Entre le collecteur et l'arbre se trouve placée une douille métallique légèrement conique à l'extérieur, mais dans le sens opposé au cône de l'anneau.

Les balais sont commandés par une vis sans fin, à contre-écrou, se manœuvrant de l'extérieur du bâti, ce qui permet de régler convenablement le frottement de ces balais sur le collecteur. La longueur totale de la machine, poulie comprise, est de $0^m,815$; sa largeur, de $0^m,500$; sa hauteur, de $0^m,528$.

Le poids du fil sur l'induit est de 10 kilogrammes ; le poids du fil sur l'inducteur, de 64 kilogrammes.

Le poids total de la machine est de 360 kilogrammes.

L'intensité du courant de 13 ampères.

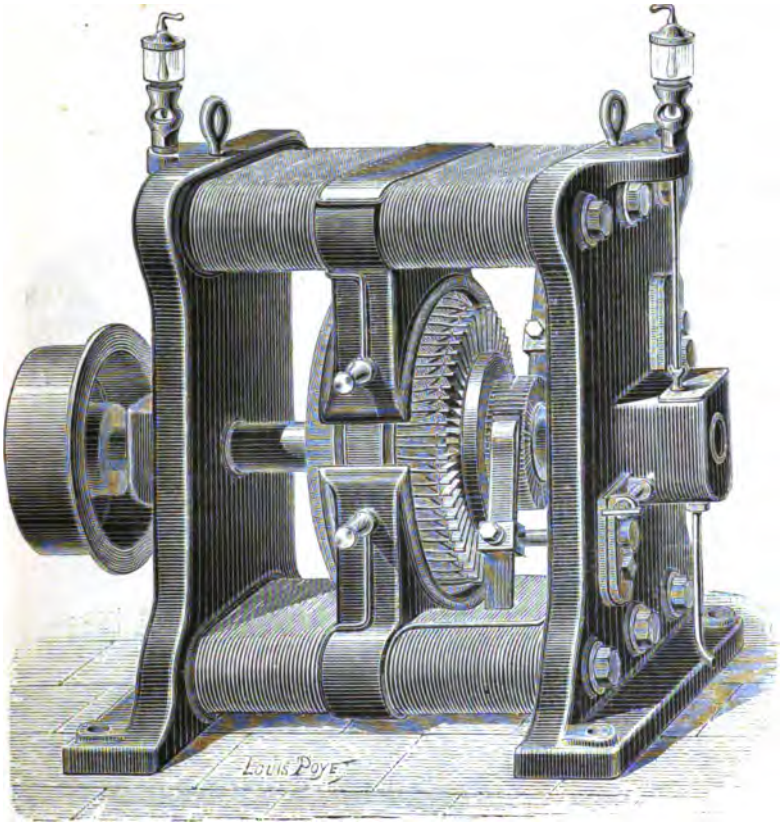


Fig. 105. — Machine Gramme (type 5 lumières).

A la vitesse de 500 tours par minute, elle donne 70 volts de différence de potentiel aux bornes.

A 1 300 tours, cette différence de potentiel s'élève à 350 volts.

Sur le même type, l'inventeur a construit des appareils pouvant alimenter 10 régulateurs ayant chacun 200 becs-carcel d'intensité. Ces appareils servaient à l'éclairage de la galerie des machines à l'Exposition internationale de 1881.

Machine carrée. — Nous ne décrirons pas toutes les formes de machines réalisées par M. Gramme depuis dix ans; cela nous entraînerait trop loin; cependant, pour montrer l'extrême variété de ses combinaisons, nous dirons quelques mots des types *carré*, *cylindrique* et *octogonal* qui ont précédé l'étude de la machine à

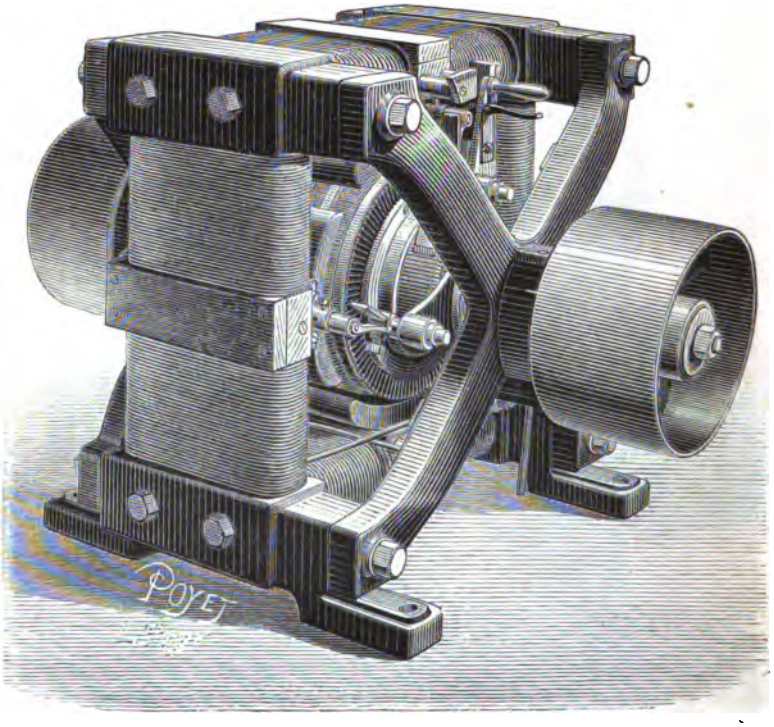


Fig. 106. — Machine Gramme carrée.

pôles simples, la plus employée actuellement dans les installations industrielles.

La machine carrée (Fig. 106) possède 4 barres d'électro-aimants, à section rectangulaire, et deux croisillons servant de paliers à l'arbre. L'arbre de l'induit, qui, dans le type normal, était placé dans la direction des barres de l'inducteur, est normal à ces barres, de sorte que, dans une coupe horizontale, les sections de ces barres et celle de l'anneau en fer sont parallèles.

Il y a 4 pôles, et 4 balais pour recueillir les courants.

Un levier à verrou, actionnant un support circulaire, permet de faire varier la position des balais sur le collecteur.

Comme on le voit, toutes les pièces entrant dans la construction de cet appareil ont pour effet la création ou l'utilisation

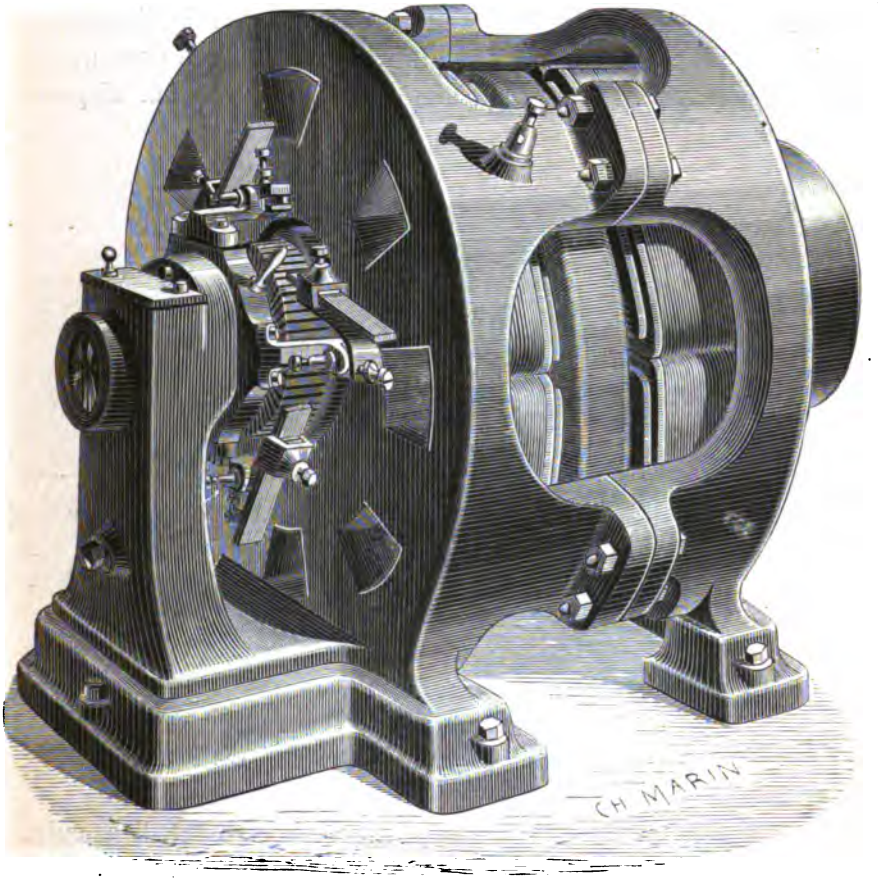


Fig. 107. — Machine Gramme cylindrique (type de 1882).

du champ magnétique : le bâti proprement dit est supprimé. Cette disposition permet d'obtenir un grand nombre de watts ou de kilogrammètres par seconde avec un faible poids de matières.

Une machine pesant 520 kilogrammes et tournant à la vitesse de 1 000 tours par minute produisait un courant de 80 ampères sous 125 volts, sans échauffement anormal après quinze

heures consécutives de marche ; ce qui correspond à un poids de matières de 40 kilogrammes par cheval effectif.

Machine cylindrique. — Après avoir longtemps muni ses machines d'anneaux en fer d'un assez faible diamètre et d'une assez grande longueur, M. Gramme voulut étudier la disposition à anneau plat contenue dans son brevet de 1869, que nous avons représentée (Fig. 100 et 101), afin de la comparer aux disposi-

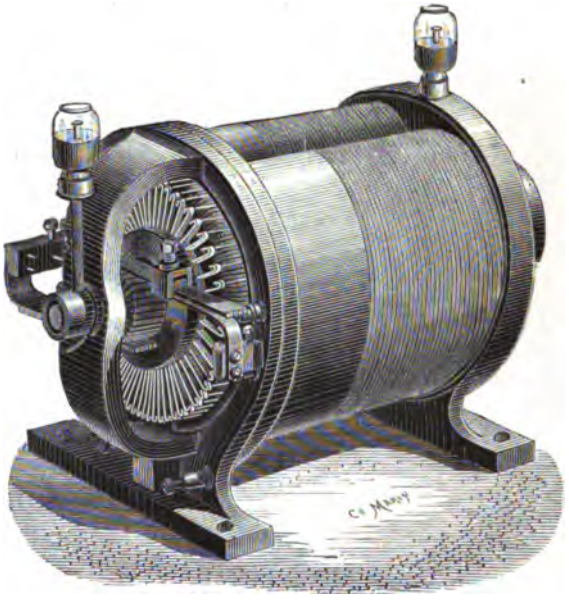


Fig. 108. — Machine Gramme cylindrique (type de 1880).

tions consacrées par une longue pratique. A cet effet, il calcula, dessina et fit construire la machine cylindrique (Fig. 107), puis il l'expérimenta avec beaucoup de soin.

Cette belle dynamo, qui ne pèse pas moins de 3 000 kilogrammes, et qui figurera à l'Exposition de 1889, est entièrement constituée par deux solides bâtis en fonte munis chacun de 8 noyaux d'électro-aimants et d'un palier, et réunis entre eux par 8 boulons. La simplicité de la construction mérite de fixer l'attention des spécialistes; elle montre, par sa comparaison avec la dynamo (Fig. 100 et 101), les progrès considérables accomplis

en quelques années par M. Gramme, dans le domaine de la mécanique.

Au point de vue électrique, les résultats furent exactement les mêmes qu'avec les machines à bobine allongée, et, comme celles-ci étaient plus faciles à exécuter, que les effets de la force centrifuge étaient moins à redouter, la fabrication des machines cylindriques fut limitée à un très petit nombre d'exemplaires.

Un type plus répandu, également de forme cylindrique, est

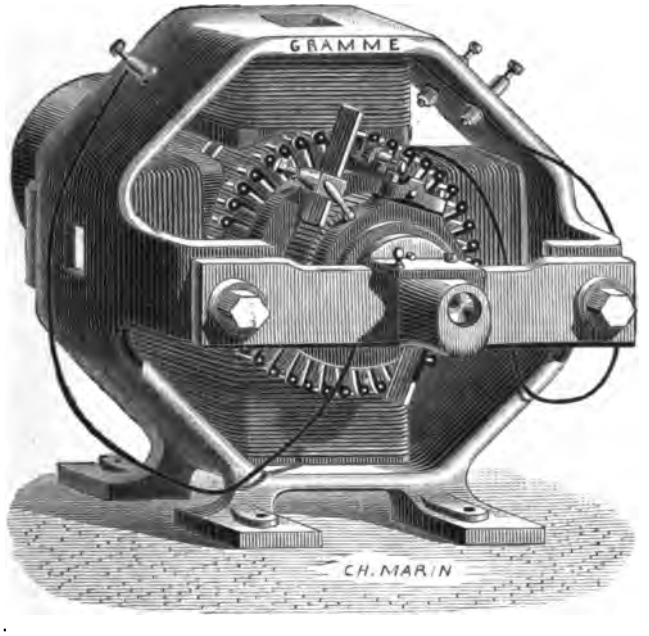


Fig. 109. — Machine Gramme (type octogonal).

celui représenté (Fig. 108). Son usage a surtout prévalu dans les applications de distribution de force motrice par l'électricité.

Machine octogonale. — Avec la machine cylindrique, et celle que nous représentons (Fig. 109), M. Gramme n'a plus en vue que la simplicité et le prix réduit des dynamos. Il fabrique couramment des appareils ayant un rendement électrique dépassant 90 pour 100 et un rendement mécanique supérieur à 80 pour 100; l'expérience l'a convaincu que ces appareils auront une durée presque indéfinie. Il veut compléter son œuvre en faisant des

machines à bon marché, afin d'en multiplier la vente et de faire profiter toutes les industries des avantages de son invention.

La machine octogonale, comparée au type normal, coûte 30 pour 100 de moins à établir, et elle possède tous les perfectionnements : balais mobiles, manchon à ailettes en bronze, graissage automatique, inducteurs compound, etc., etc., qui ont été expérimentés et reconnus pratiques depuis 1873.

Dans le même ordre d'idées, M. Gramme a étudié une machine à deux pôles, de forme rectangulaire, qui donne également d'excellents résultats.

Machine type supérieur. — La machine appelée *type supérieur*, parce que l'induit est à la partie supérieure de l'appareil, est analogue, au point de vue de la construction, aux machines cylindrique et octogonale ; mais elle a deux pôles simples et ne possède que deux âmes d'électro-aimants.

Nous nous sommes borné à appeler l'attention sur les dernières machines sans les décrire ; pour celle-ci, nous entrerons dans quelques détails techniques, car elle est presque aussi répandue en France que le type normal, et son usage se développe de jour en jour.

La machine *type supérieur* (Fig. 110) se compose : 1° d'un électro-aimant en fonte terminé par de puissantes pièces polaires, en forme de mâchoires, lesquelles enveloppent l'induit presque aux trois quarts ; 2° de deux supports, également en fonte, qui reçoivent l'arbre central et sa poulie ; 3° d'une plaque de fondation réunissant l'électro-aimant et les paliers ; 4° d'une bobine et de son collecteur ; 5° des balais, porte-balais et de plusieurs pièces accessoires, communes à toutes les dynamos.

Ce qui caractérise les nouvelles machines Gramme, c'est que la plaque de fondation, les supports, les âmes d'électro-aimants et les parties polaires ne forment qu'une seule et même pièce de fonte. Toute l'ossature de l'appareil est donc d'un seul bloc ; tous les assemblages, sauf ceux d'un palier sur son support, sont supprimés.

Les garnitures de cuivre de l'inducteur sont préparées sur un mandrin en tôle ayant exactement les dimensions des âmes en

fonte, puis introduites à leurs places respectives, entre deux cadres en bois ou en toute autre substance isolante.

La bobine est constituée par un anneau en fer doux, d'une section relativement grande, et par une série de spires de cuivre de haute conductibilité, bien isolées et soudées avec soin aux lames du collecteur.

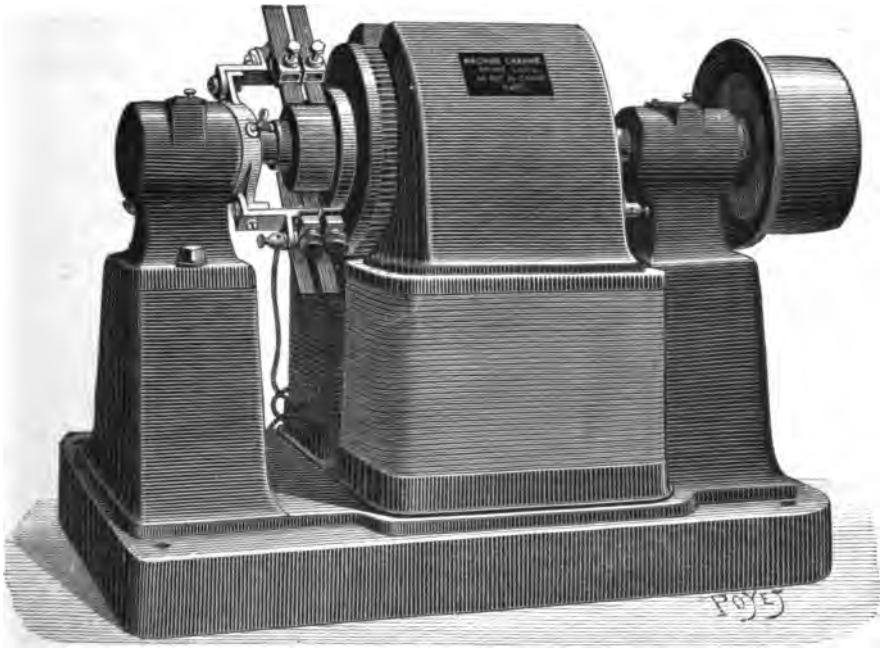


Fig. 110. — Machine Gramme (type supérieur).

Le collecteur est fixé sur l'arbre par l'intermédiaire d'une rondelle métallique, et les lames sont maintenues ensemble au moyen d'une rondelle extérieure en bronze. Toutes les parties qui constituent cet organe sont rigoureusement isolées les unes des autres.

La bobine est emmanchée sur l'arbre avec un croisillon en bronze dont les extrémités pénètrent jusqu'au fer doux, grâce aux intervalles réservés à cet effet lors de l'enroulement des fils. Une clavette et une vis empêchent le croisillon de tourner sur l'arbre.

Les porte-balais sont montés sur une traverse oscillant à

l'extrémité d'un des paliers et permettant de régler à volonté les points de prise du courant.

Les paliers portent une bague mobile placée au milieu de la portée; cette bague repose directement sur l'arbre et plonge dans l'huile d'un petit réservoir inférieur; elle tourne plus ou moins vite, suivant le degré de sécheresse de la portée. Le graissage est sûr; l'huile reste constamment limpide. Le jeu existant entre la périphérie de l'induit et l'intérieur des parties polaires varie entre 3 et 5 millimètres, suivant les dimensions de la machine.

Le tableau, page 215, donne la vitesse, les constantes, le poids et le prix des principaux appareils exécutés sur le modèle du type supérieur. L inventeur construit en ce moment une machine qui donnera 600 ampères sous 110 volts à 450 tours par minute, et qui pèsera environ 4000 kilogrammes.

Remarque sur les travaux de M. Gramme. — Les machines dont nous venons de parler donnent une idée bien incomplète de l'œuvre de M. Gramme. Pendant vingt ans, en même temps qu'il combinait ses machines, il a fait un grand nombre d'expériences sur le magnétisme, l'affinage des métaux, les accumulateurs, les transformateurs, l'électricité statique, etc. Quelques-unes de ces expériences ont été présentées à l'Institut; mais le plus grand nombre d'entre elles sont inédites.

Un fait digne de remarque, et que nous pouvons certifier, c'est que, dans ses études de dynamos, M. Gramme n'a jamais eu de collaborateurs, ni même d'élèves, l'ayant secondé dans ses calculs. Toutes les machines sortant de ses ateliers ont leurs bâtis, leurs organes mécaniques, leurs fils, leurs isolants, etc., déterminés par lui. Il calcule une machine, la dessine, vérifie les modèles, surveille la construction, la soumet à une série d'essais, modifie les parties imparfaites, la fait, au besoin, recommencer complètement, et ne la livre à la fabrication que lorsqu'il en est satisfait.

Les machines *Edison* et *Siemens*, pour ne citer que les deux plus célèbres, subissent des transformations successives auxquelles leurs promoteurs ne participent en aucune façon. En cela réside

la situation prépondérante de M. Gramme sur ses concurrents. Dans la spécialité de l'industrie des dynamos, un seul homme tient ainsi tête à une légion d'inventeurs.

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LES DYNAMOS GRAMME 1887 (FRANCE)

NUMÉROS des MACHINES.	NOMBRE de TOURS par minute.	INTENSITÉ en AMPÈRES.	DIFFÉRENCE de POTENTIEL aux bornes en volts.	POIDS total de la MACHINE.	PRIX DES DYNAMOS Compound ou non Compound.
				kilog.	fr.
1	600	187	210	4 300	6 500
—		550	70	—	—
—		375	110	—	—
2 *bis*	725	470	70	3 335	5 400
—		150	210	—	—
—		300	110	—	—
2	800	112	210	2 320	4 200
—		350	70	—	—
—		225	110	—	—
3	1 000	75	210	1 250	3 000
—		230	70	—	—
—		150	110	—	—
4 *bis*	1 100	55	210	1 100	2 400
—		170	70	—	—
—		110	110	—	—
—		220	55	—	—
4	1 200	40	210	710	1 700
—		115	70	—	—
—		75	110	—	—
—		150	55	—	—
5	1 400	60	70	445	900
—		40	110	—	—
—		80	55	—	—
6	1 500	30	70	260	600
—		20	110	—	
—		40	55	—	
7	1 500	14	70	170	500
—		20	55	—	—
8	1 600	10	55	108	400
—		10	53	—	—
9	2 000	10	25	45	300

Machines Siemens. — Les dynamos Siemens à courant continu reposent sur le même principe que les machines Siemens à courants alternatifs dont nous avons donné la théorie page 60 et la description sommaire page 70. La seule différence capitale qu'elles présentent avec les machines Gramme consiste dans le mode d'enroulement des fils de l'induit. Dans les machines Gramme, les fils sont enroulés sur l'anneau et le recouvrent complètement, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur; dans les machines Siemens, les fils sont enroulés à l'extérieur seulement de l'anneau, de sorte que cet anneau peut être remplacé par un cylindre plein ou par un tambour calé sur l'arbre.

C'est M. Hefner-Alteneck qui, en 1873, s'inspirant des inventions de MM. Gramme et W. Siemens, a réalisé la première dynamo Siemens à courant continu. Dans cette première machine les électro-aimants inducteurs et le tambour en fer de l'induit étaient fixes. Les bobines montées sur de légères carcasses en cuivre tournaient entre les pièces polaires et le tambour central, et le courant était recueilli sur un collecteur Gramme tournant avec les bobines.

Petit à petit, les constructeurs modifièrent cette disposition, et ils finirent par adopter l'ensemble des perfectionnements réalisés par M. Gramme dans les organes essentiels des dynamos, sauf en ce qui concerne la bobine, à laquelle ils conservèrent son enroulement extérieur.

Cet enroulement lui-même a été fréquemment modifié quant au mode de connexion des spires avec les segments du collecteur; mais il est resté caractérisé par l'absence de fil à l'intérieur de l'anneau.

Nous empruntons au traité de M. Silvanus Thompson le diagramme des connexions actuellement pratiquées dans les dynamos Siemens, et le mode d'enroulement qui en est la conséquence.

Ce diagramme (Fig. 111) indique que les bobines élémentaires disposées autour du tambour sont reliées entre elles d'une façon continue, la fin d'une section et le commencement de la suivante aboutissant toutes deux à un même segment du collecteur. Les huit bobines partielles sont réduites chacune à un seul tour de fil, afin de faciliter l'examen du mode d'enroulement.

En partant, par exemple, du segment *a*, le fil va directement au pourtour du tambour, en prenant la direction *a a'*; puis, il longe le cylindre suivant une de ses génératrices pour traverser diamétralement la face opposée au collecteur et revenir, suivant la génératrice opposée à la première, au point *a''*, d'où il est

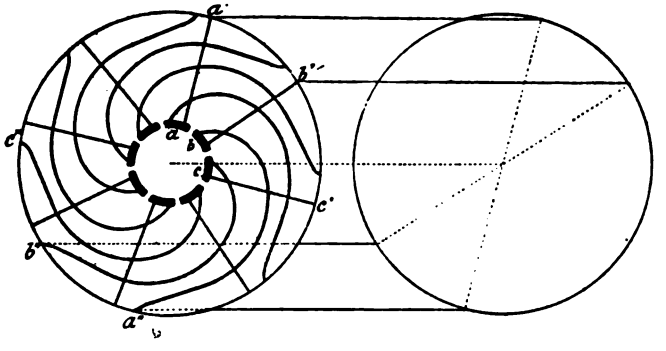


Fig. 111. — Connexions des bobines Siemens.

dirigé, en serpentant, jusqu'au segment *b*, avec lequel s'opère sa connexion. De ce second segment *b* part un nouveau fil qui suit la direction *b b'*, longe le cylindre, traverse la base opposée, revient le long du cylindre par *b''* pour s'attacher au segment *c*; et ainsi de suite pour les huit segments.

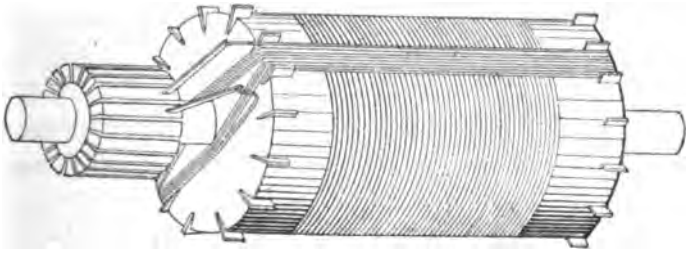


Fig. 112. — Bobine Siemens.

Généralement, les bobines Siemens comportent plusieurs tours de fil et un grand nombre de segments; mais cela ne change en rien le système de connexion.

Le procédé de fabrication de la bobine est représenté (Fig. 112). Sur l'arbre sont assujettis, au moyen de goupilles, deux tourteaux en bronze, qui forment les bases de la carcasse

cylindrique. Entre ces tourteaux est roulée une feuille de tôle mince, fixée sur des épaulements réservés à cet effet sur leur bord interne. Autour de la tôle est enroulée une grande masse de fil de fer doux qui constitue l'âme de la bobine, comme dans l'anneau Gramme.

Des entailles, en nombre égal à celui des sections que doit avoir la bobine, sont pratiquées sur les bords des faces extérieures des tourteaux; on y loge de petites cales en bois pour faciliter l'enroulement.

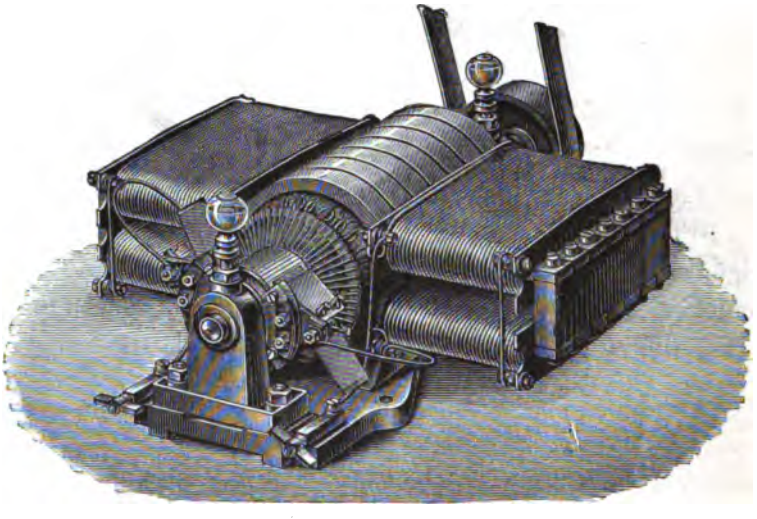


Fig. 113. — Machine Siemens horizontale.

Quant au bobinage même des sections, il est fait de la manière suivante : le fil est tendu le long du cylindre, comme le montre la figure, quatre spires sur huit passant à gauche de l'arbre, et quatre à droite; de là, il est ramené sur lui-même pour aboutir à la lamelle qui le relie au second segment du collecteur. La section suivante part de ce même segment, et est conduite comme la précédente. La section diamétralement opposée à la première section est disposée par-dessus les huit premières spires déjà placées. Dans une bobine à 16 sections, la section n° 9 se trouve superposée à la section n° 1; la section n° 10, à la section n° 2; et ainsi de suite, le cylindre étant, sur toute sa surface, recouvert de deux couches de fil distinctes.

Le collecteur n'est posé qu'après l'enroulement complet de toutes les sections.

La plupart des machines Siemens ont leurs électro-aimants formés d'une série de noyaux en fer forgé, cintrés au milieu pour laisser passer l'armature, et reliés par une entretoise à leurs extrémités. Les fils de l'inducteur sont enroulés sur des carcasses en tôle à joues de laiton, insérées sur les noyaux avant leur réunion par les entretoises.

La figure 113 représente la machine Siemens, qui a eu le

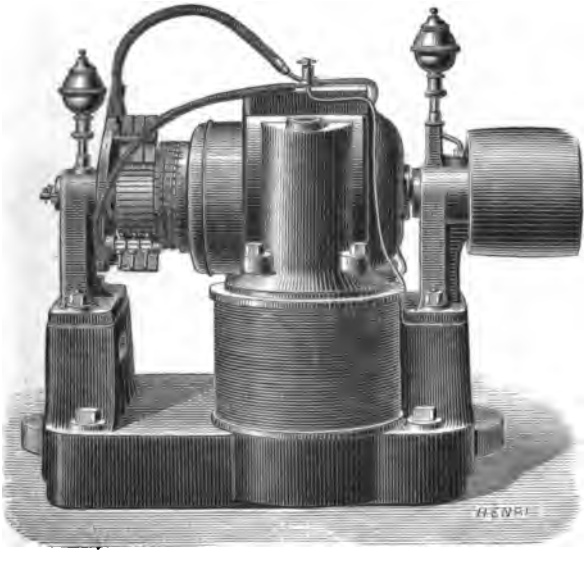


Fig. 114. — Machine Siemens (type supérieur).

plus de vogue de 1875 à 1885. La position verticale des électro-aimants a été adoptée dans un grand nombre d'installations, sans que l'inducteur ni l'induit aient été modifiés. Depuis deux ans, la maison Siemens a transformé sa fabrication et a donné à ses dynamos la forme du type supérieur Gramme (Fig. 114) ou celle à électro-doubles (Fig. 114 *bis*).

Ces nouveaux types se signalent à première vue par un poids plus considérable donné aux noyaux de l'inducteur et au bâti. Les supports seuls sont restés d'une maigreur extraordinaire. Cette maigreur constitue une sorte de marque de fabrique

de la maison Siemens et Haslke ; on la retrouve invariablement dans toutes ses dynamos.

Les collecteurs sont, pour les fortes machines, isolés à l'air.

Une des particularités à signaler dans ces nouvelles ma-

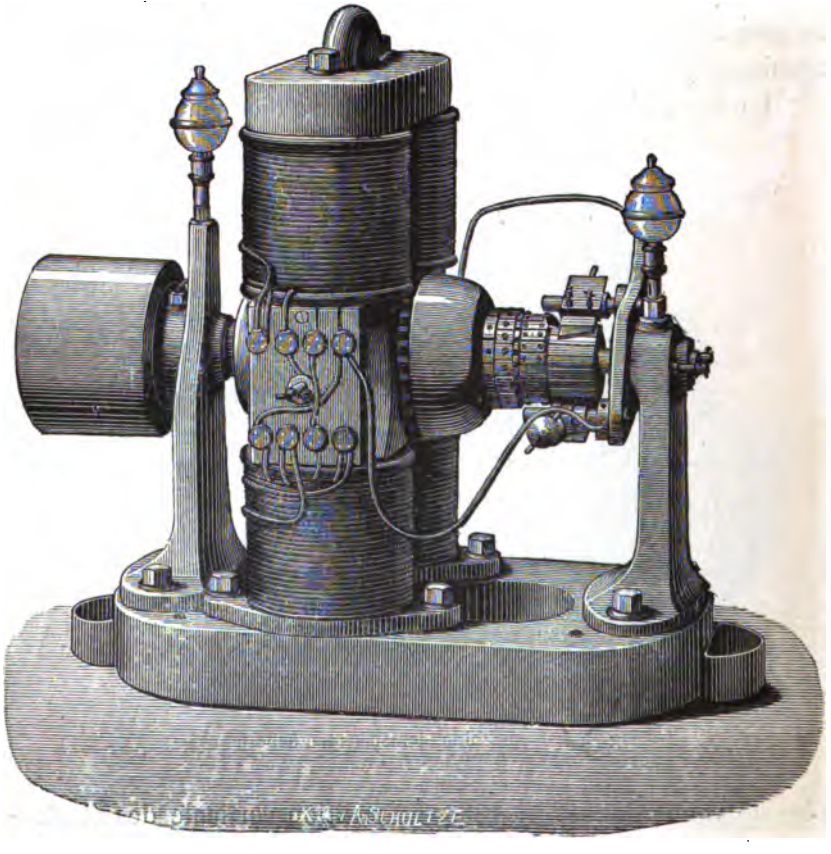


Fig. 114 *bis*. — Machine Siemens verticale.

chines réside dans les tablettes de connexions fixées de chaque côté des flancs des inducteurs. Ces tablettes reçoivent à des bornes distinctes les extrémités de tous les fils d'inducteur et d'induit constituant le système électro-magnétique. Elles permettent de coupler à volonté les diverséléments suivant le genre et la nature du travail demandé à la machine.

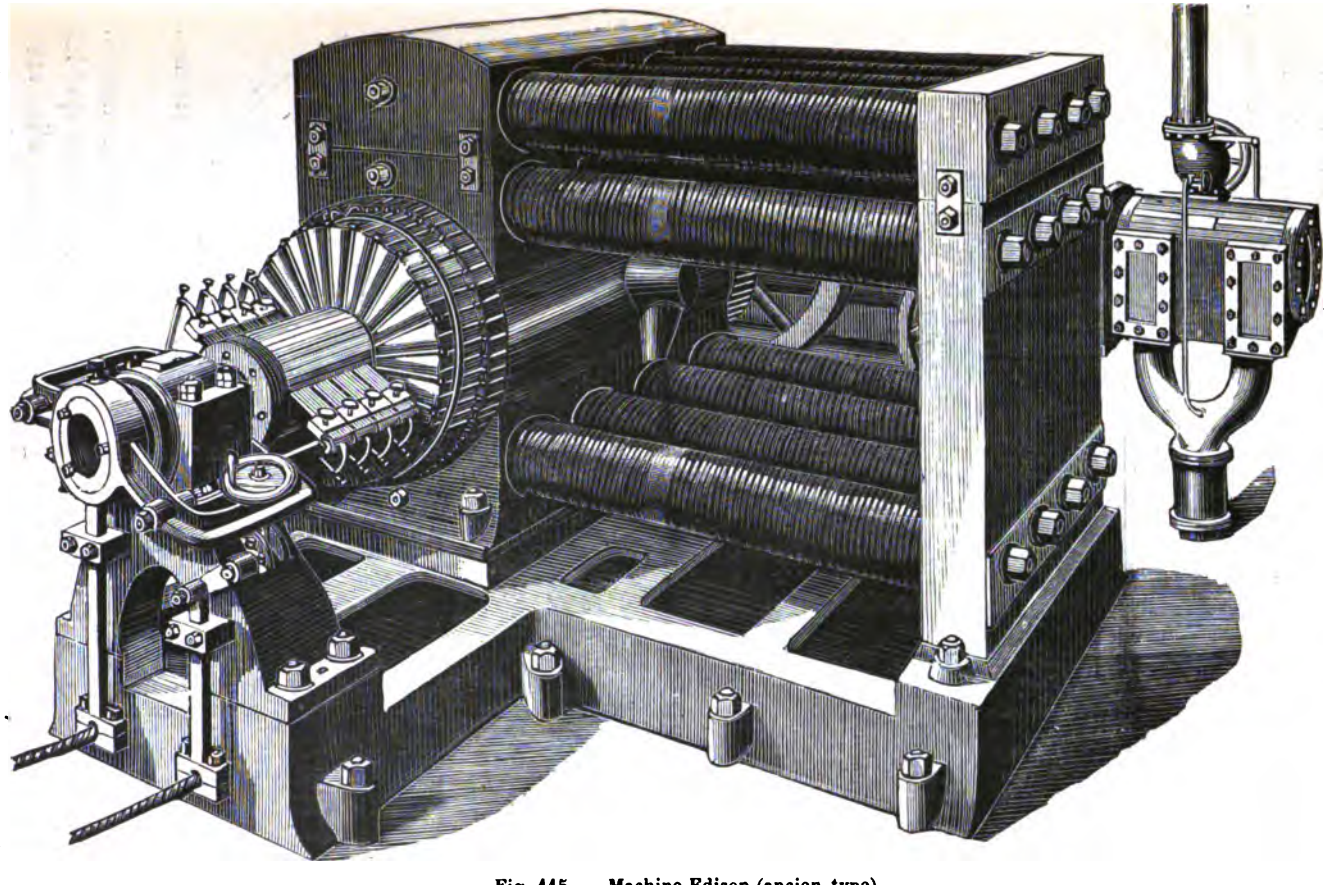


Fig. 115. — Machine Edison (ancien type).

Machines Edison. — Les dynamos combinées par M. Edison avaient primitivement leur inducteur composé d'un grand nombre de barres horizontales, comme il est indiqué (Fig. 115), et leur induit formé de barres rigides disposées suivant les génératrices d'un cylindre (Fig. 116). Cet induit ne différait de celui des dy-

Fig. 116. — Induit des machines Edison.

namos Siemens que par le mode d'enroulement et par certains points de détail assez caractéristiques d'ailleurs. L'enroulement présentait un nombre impair de sections. Dans les petites machines il y avait 7 sections et par suite 7 lames de collecteur; les attaches des sections aux lames s'opéraient suivant le diagramme représenté (Fig. 117). Dans les grandes machines (Fig. 115), le nombre des sections était de 49. Il résulte de l'emploi d'un nombre impair de lames dans le collecteur, que, si les frotteurs sont diamétralement opposés, ils ne passent pas au même instant d'une section à l'autre; l'un d'eux touche, en effet, le milieu d'une lame au moment où l'autre passe d'une lame à la suivante.

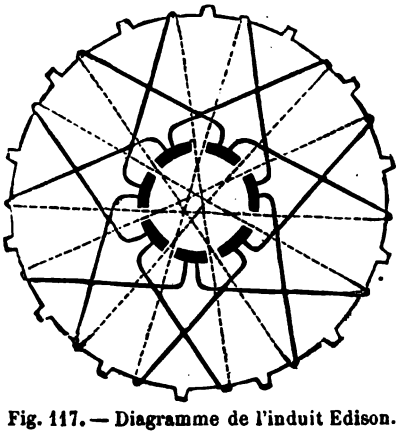


Fig. 117. — Diagramme de l'induit Edison.

Les extrémités des barres de cuivre étaient reliées transversalement par des rondelles en cuivre isolées les unes des autres. Ces rondelles offraient beaucoup moins de résistance que les bandes métalliques employées par M. Gramme; mais elles augmentaient le coût de la machine et rendaient les réparations très

difficiles à exécuter. Le diagramme (Fig. 118) indique le mode d'attache des barres et des rondelles. L'âme était formée de disques en fer très minces, séparés les uns des autres par une feuille de mica ou de carton d'amiante, le tout assemblé sur un arbre central et réuni par deux boulons, de manière à constituer un cylindre rigide.

A chaque extrémité de ce cylindre (dans les grandes machines) se trouvait un groupe de 49 rondelles de connexion, ayant chacune deux dents en saillie sur le diamètre extérieur. Le nombre des barres de l'induit était de 98, et celui des lames du collecteur, de 49.

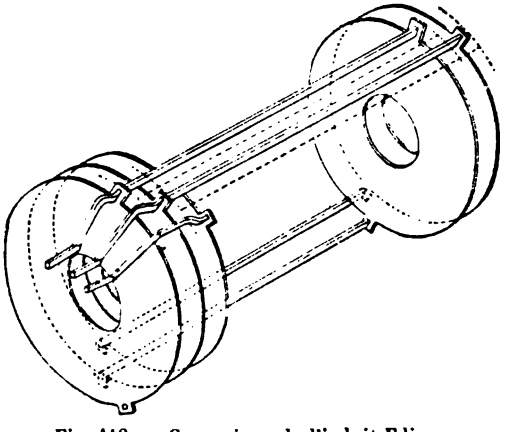


Fig. 118. — Connexions de l'induit Edison.

Chacune des lames du collecteur était reliée à une des rondelles du groupe avoisinant ledit collecteur, et cette rondelle était elle-même reliée à deux des barres longitudinales aboutissant au second groupe de rondelles. Une première barre réunissait la rondelle extérieure d'un groupe avec la rondelle intérieure de l'autre groupe; une deuxième barre, diamétralement opposée à la première, mettait en connexion cette rondelle intérieure avec la troisième rondelle (et non la seconde) du groupe auquel appartenait la rondelle extérieure, point de départ de l'enroulement, et ainsi de suite. Les deux dents en saillie de chacune des rondelles n'étaient pas, en conséquence, diamétralement opposées; les connexions avançaient d'un quarante-neuvième de la circonférence à chacune des quarante-neuf attaches. Ces grandes ma-

chines avaient quatre ou cinq paires de balais frotteurs pour recueillir le courant avec un minimum d'étincelles sur le collecteur.

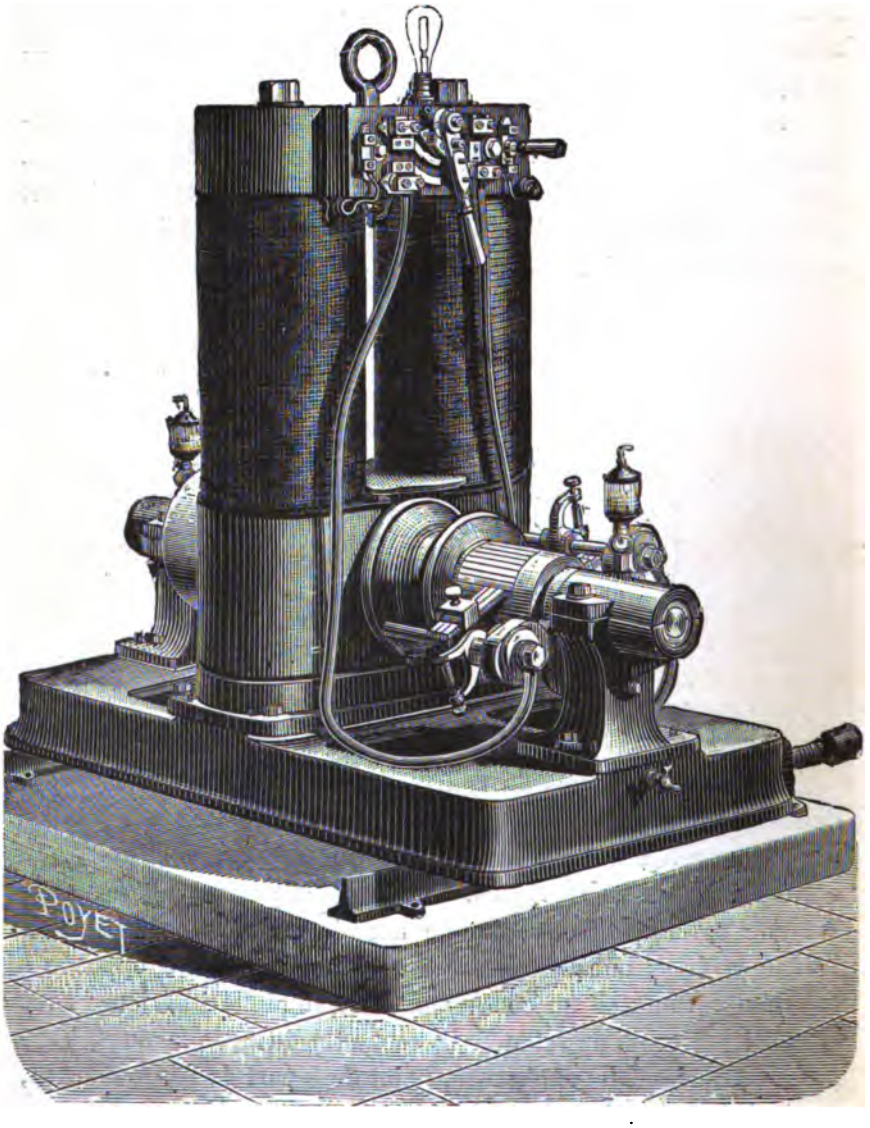


Fig. 119. — Machine Edison (modèle 1883).

Plusieurs perfectionnements ont été récemment apportés aux dynamos Edison, notamment par le Dr John Hopkinson et par les

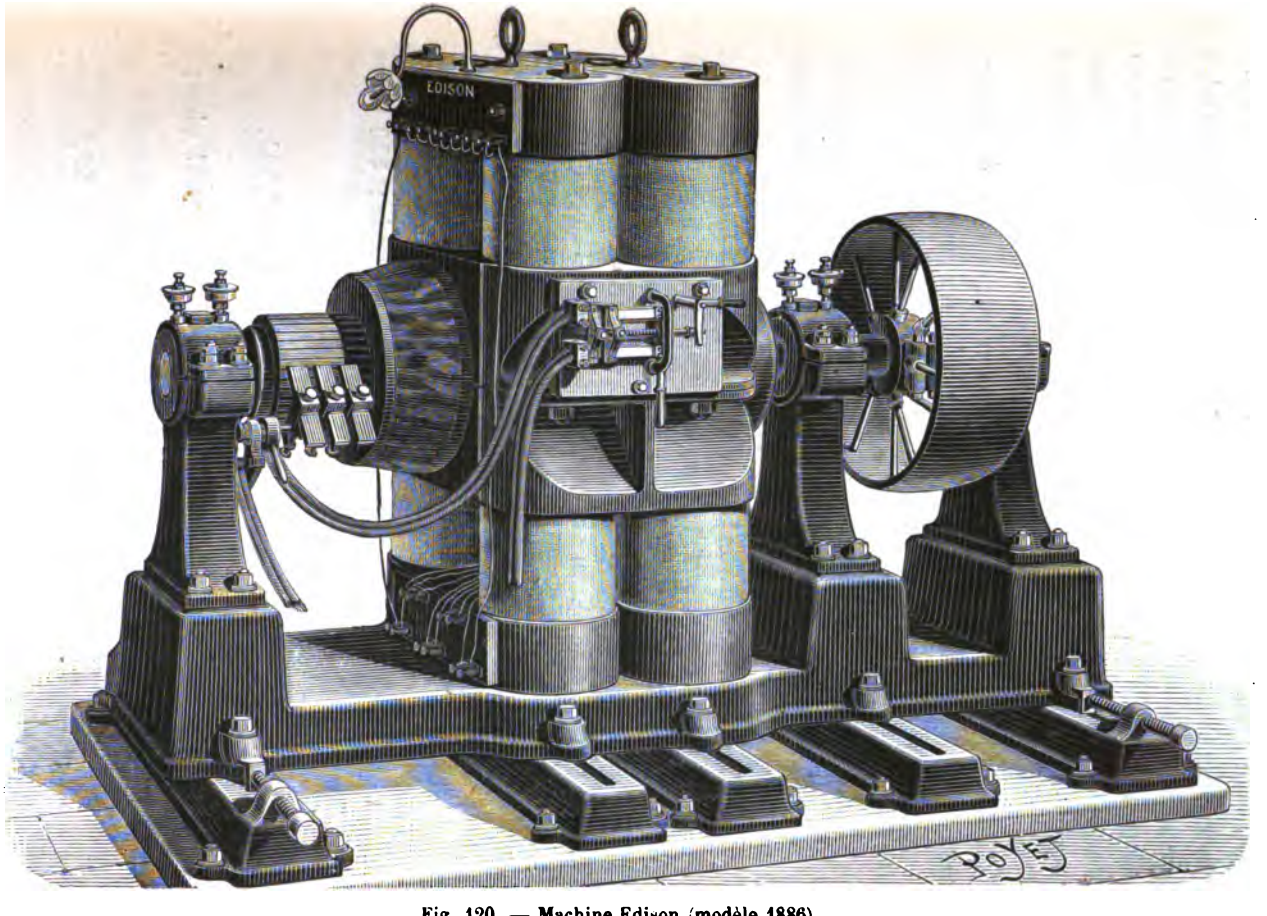


Fig. 120. — Machine Edison (modèle 1886).

ingénieurs des diverses sociétés fondées pour exploiter les procédés du grand inventeur américain. Le principal de ces perfectionnements consiste dans la suppression des barres multiples de l'inducteur et dans leur remplacement par deux barres massives réunies à la partie supérieure au moyen d'une traverse en fer de grande section. Les machines ont, par suite, la forme plus ramassée, représentée (Fig. 119), et leur rendement mécanique est considérablement augmenté.

Les induits ne sont plus constitués avec des barres de cuivre, mais bien avec des fils se croisant d'un côté de l'âme cylindrique et s'attachant directement aux lames du collecteur de l'autre côté de l'âme.

Une épaisse semelle en zinc sépare les pièces polaires du bâti de la machine, afin d'isoler complètement ce bâti, au point de vue magnétique, du reste de la machine.

La figure 120 représente une très belle machine récemment étudiée et calculée par M. Picou, directeur des ateliers Edison, à Ivry. Les quatre premiers exemplaires de ce type ont été installés dans les sous-sols de l'Opéra, à Paris, et participent, depuis la fin de 1886, au service de l'éclairage de cet édifice.

Le poids total de cette machine, qui alimente 1000 lampes de 16 bougies, est d'environ 10 tonnes.

Voici quelques données sur sa puissance et sa construction :

Puissance. — 125 volts $\times$ 800 ampères = 100 000 watts;

Induit. — Vitesse linéaire, $10^m,500$ par seconde; 350 tours par minute;

Induit. — Diamètre extérieur, $0^m,630$;

— — Longueur de la génératrice induite, $0^m,800$;

— — Divisions au collecteur, 40;

— — Résistance mesurée statiquement, 0,0054 ohm;

— — Poids du cuivre, 190 kilogrammes;

Inducteurs. — Résistance réduite, 4,25 ohms;

— — Courant d'excitation maximum, 29,5 ampères;

Inducteurs. — Poids du cuivre 285 kilogrammes;

Rendement électrique, 96,5 0/0.

A l'Opéra, chaque dynamo est commandée séparément et directement par une machine à grande vitesse (Weyher et Richemond) de 150 chevaux.

C'est, croyons-nous, la plus puissante dynamo qui existait en France au commencement de l'année 1887. Depuis, M. Gramme a entrepris la fabrication de machines de 1000 ampères, sur un

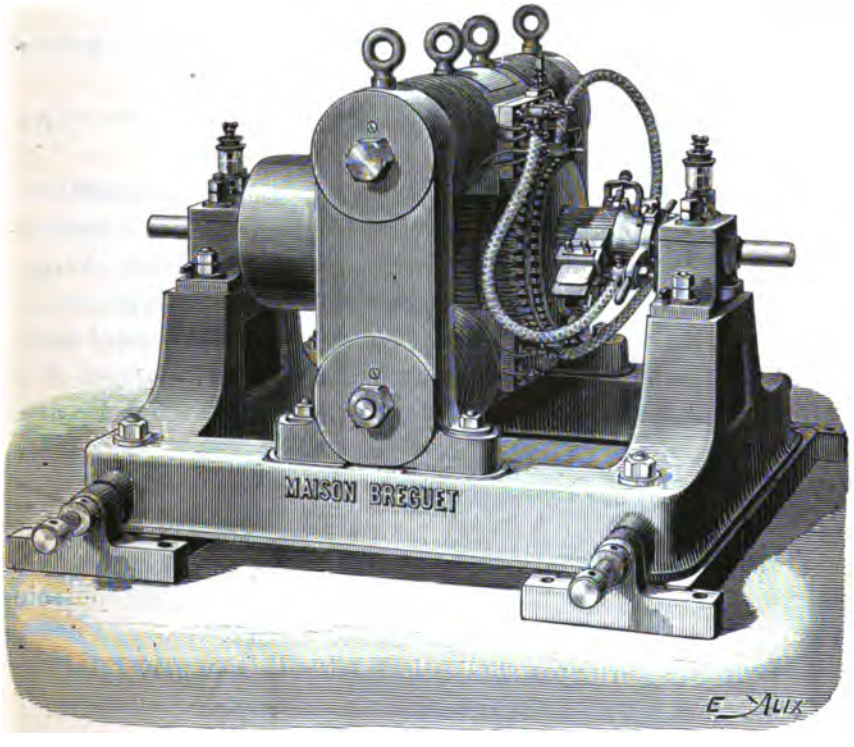


Fig. 121. — Machine de la maison Breguet.

type essentiellement nouveau, mais qui n'est pas encore mis en vente au moment où nous écrivons ces lignes.

Machines de la maison Breguet. — La maison Breguet a longtemps construit des dynamos Gramme sur les dessins de l'inventeur, dont elle avait obtenu une licence exclusive pour les appareils de laboratoire et une licence simple pour les appareils industriels. A l'expiration de sa convention, elle a étudié des types spéciaux à allure lente, destinés à l'éclairage des na-

vires, et des types à allure rapide pour les divers usages industriels.

Nous représentons (Fig. 121) un des plus grands modèles de ces machines.

L'induit est un anneau Gramme muni d'un collecteur cylindrique, également du système Gramme, et de balais faciles à régler, même pendant la marche.

L'inducteur est composé de deux barres horizontales garnies de fils, et de deux fortes traverses verticales.

Les pièces polaires sont fixées au milieu des barres horizontales.

Les paliers, largement établis, possèdent des graisseurs perfectionnés. La poulie, comprise entre l'un des paliers et la bobine, est calculée de manière à assurer le service à pleine charge, sans glissement de la courroie. Dans les types les plus puissants, cette poulie est pontée entre deux paliers complètement indépendants de la machine qui est alors entraînée au moyen d'un accouplement élastique fort ingénieux, dû à M. Raffard. Cette disposition supprime toutes les réactions sur l'arbre, amortit les vibrations dues au moteur et assure à la machine une rotation très régulière.

Les dynamos de la maison Breguet sont portées sur des glissières à vis qui permettent de régler la tension de la courroie sans la démonter, sans même arrêter le service.

Parmi les dernières applications exécutées au moyen de ces dynamos, nous citerons l'installation de 9 navires, notamment de la *Champagne*, de la *Bretagne*, du *Lafayette* et du *Saint-Germain*, de la Compagnie transatlantique ; celle de 32 bateaux du service des « Express » de la Seine ; celle des raffineries de Saint-Louis à Marseille, etc...

Machines Jaspar. — M. Jaspar, de Liège, autre concessionnaire de M. Gramme, construit ses dynamos suivant le modèle représenté (Fig. 122).

L'induit est très allongé. L'inducteur est formé de deux pièces de fonte verticales assemblées par 4 boulons. Les paliers sont munis de graisseurs automatiques.

La fabrication, quoique un peu inférieure à celle de l'inventeur, présente cependant de sérieuses qualités, au double point de vue de la solidité et du bon marché.

M. Jaspar est le premier constructeur belge qui ait exécuté des appareils électriques vraiment industriels. Le nombre des

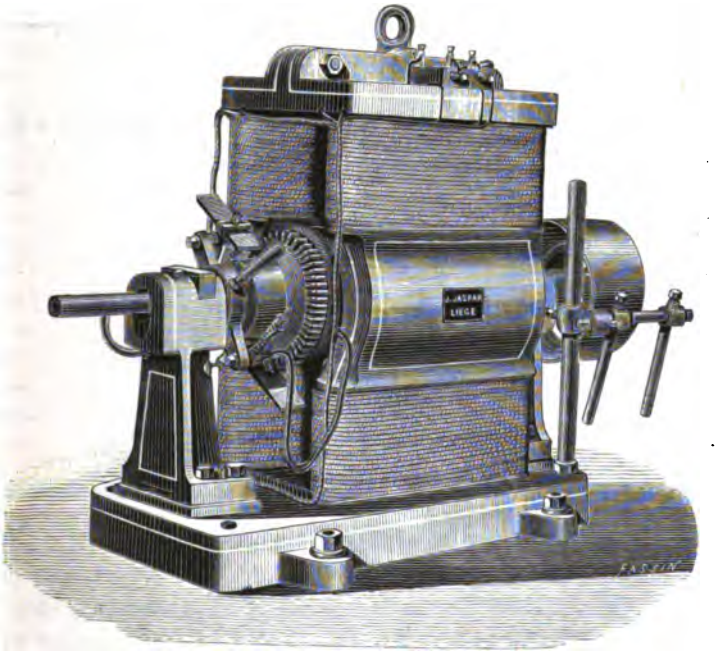


Fig. 122. — Machine Jaspar.

applications qu'il a réalisées est aujourd'hui considérable. Parmi ces applications, nous citerons les installations de Seraing, de Raismes, de Gamand, et celle de la place des Nations, à Bruxelles.

Dans cette dernière installation, les potences fixes supportant les foyers ont été remplacées par des mâts à bascule, du même inventeur, permettant de garnir les régulateurs de crayons sans le secours d'une échelle ou d'un treuil.

Voici quelques renseignements sur les dynamos fabriquées par M. Jaspar :

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LES DYNAMOS JASPAR 1887 (BELGIQUE).

NUMÉROS des MACHINES.	NOMBRE de TOURS par minute.	INTENSITÉ en AMPÈRES.	DIFFÉRENCE de POTENTIEL aux bornes en volts.	POIDS total des MACHINES.	PRIX.
				kilog.	fr.
00	1 650	8	70	140	45
—	2 100	8	100	—	—
0	1 500	15	70	190	750
—	1 900	15	100	—	—
1	1 850	35	70	260	1 100
—	—	25	100	—	—
2	1 250	60	70	485	1 600
—	—	45	100	—	—
3	1 000	100	70	750	2 200
—	—	75	100	—	—
4	950	200	70	1 250	4 500
—	—	150	100	—	—
5	—	350	70	2 900	5 700
—	930	250	100	—	—

Machines Gülcher. — Cette machine, représentée (Fig. 123), est très répandue en Allemagne et en Belgique. Elle diffère des précédentes par son induit qui se compose d'un disque au lieu d'un anneau plus ou moins allongé, et par son inducteur qui est à pôles multiples au lieu d'être formé d'une seule paire de pôles. Sa construction, bien qu'un peu compliquée, rappelle beaucoup celle des machines Gramme brevetées en 1869, ou mieux celle des machines cylindriques représentées (Fig. 107).

Comme points distinctifs, nous nous contenterons de citer les trois revendications suivantes, contenues dans le brevet de M. Gülcher :

1° L'emploi d'un disque Gramme à section triangulaire, dans le but de pouvoir exposer presque entièrement les bobines partielles à l'action du champ magnétique ;

2° L'emploi de développements polaires en U, de telle sorte que les bras de leur profil dépassent le profil du disque, dans le même but que précédemment ;

3° La manière de garnir le noyau en fer doux du disque, en laissant des vides après chaque bobine partielle, pour former un véritable ventilateur destiné à rafraîchir continuellement le noyau, toutes les bobines et même l'ensemble de l'inducteur.

Nous ajouterons que les machines Gülcher sont bien étudiées dans tous leurs détails et qu'elles sont relativement légères et peu encombrantes, pour la puissance électrique dont elles sont susceptibles.

Machine Thomson-Houston pour arc voltaïque. — La dynamo combinée par MM. Elihu Thomson et E.-J. Houston, de Boston,

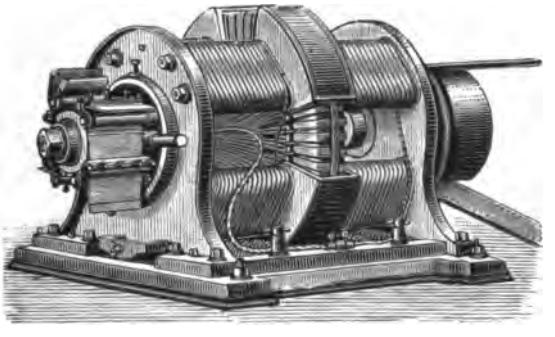


Fig. 123. — Machine Gülcher.

est très en usage aux États-Unis pour l'éclairage des voies publiques et des vastes locaux; elle doit son succès à un système de régulation qui maintient constante l'intensité du courant, quelle que soit la résistance extérieure, et à un souffleur d'étincelles qui empêche la destruction rapide de son collecteur.

Extérieurement (Fig. 124) la dynamo Thomson-Houston a l'aspect d'un grand cylindre supporté par quatre patins, et garni longitudinalement de barreaux équidistants.

Nous allons examiner successivement l'inducteur, l'induit, le collecteur, le régulateur et le souffleur de cette ingénieuse machine.

Inducteur. — L'inducteur (Fig. 125) est formé de deux cylindres I, placés dans le prolongement l'un de l'autre et sur lesquels sont enroulées les bobines C et C'. Les cylindres sont terminés extérieurement par deux collerettes réunies entre elles par une série

de barres en fer *bb* qui ont pour objet de fermer le flux de force produit par les bobines et d'entretoiser solidement les deux parties de l'électro-aimant. A l'intérieur, les cylindres sont terminés par des surfaces concaves, ménageant entre elles un vide sensiblement sphérique pour loger l'induit A, qui se trouve ainsi enveloppé presque complètement par les bobines de l'inducteur. Ces bobines sont placées dans le circuit extérieur.

Deux supports F, solidement boulonnés avec les collerettes

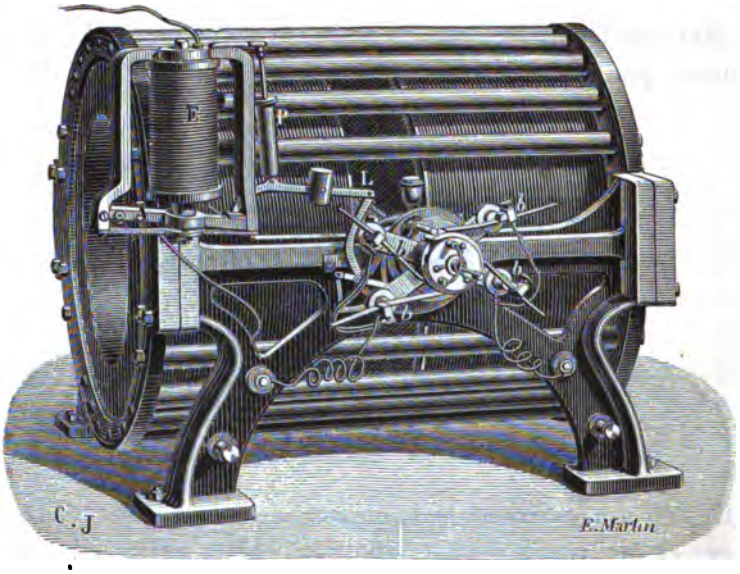


Fig. 124. — Machine Thomson-Houston.

des cylindres I, servent de bâti à la machine et de paliers à l'arbre X.

Induit. — L'induit (Fig. 126 et 126 *bis*) a la forme d'une sphère légèrement aplatie. Son noyau est composé de deux coquilles en fonte S S, clavetées sur l'arbre, entre lesquelles on place un certain nombre de petites barres en fer *dd*. Sur cette carcasse ainsi constituée, on enroule le fil de fer W W à épaisseur voulue, en ayant soin de choisir d'excellent fer, recuit, oxydé et verni. Puis, on recouvre le tout de papier épais, collé avec de la gomme laque.

Autour du noyau, on enroule trois bobines composées de

nombreuses spires de cuivre isolées, se croisant aux parties polaires. Pour que les trois bobines aient exactement la même résistance et se trouvent dans les mêmes conditions électriques,

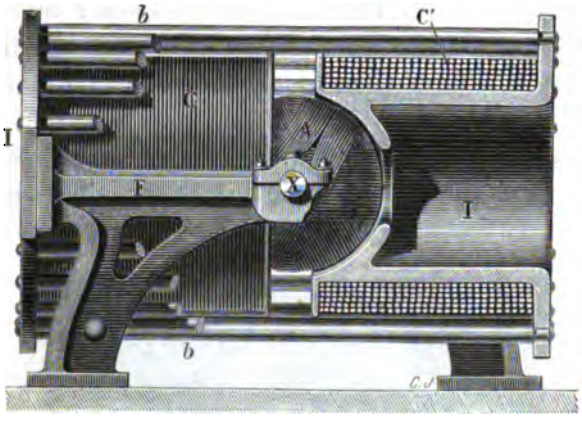


Fig. 125. — Inducteur Thomson-Houston.

on procède à leur enroulement de la manière suivante : on commence par insérer dans la carcasse un certain nombre de chevilles en bois JJJ pour guider et retenir les fils ; puis on enroule :

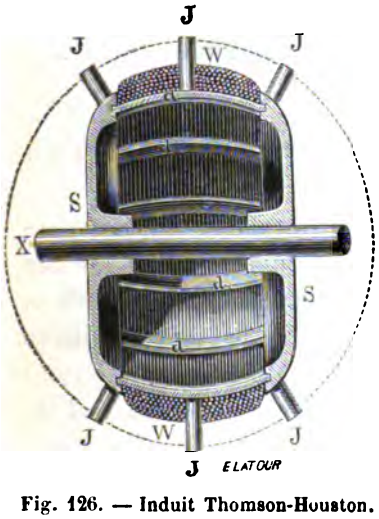


Fig. 126. — Induit Thomson-Houston.

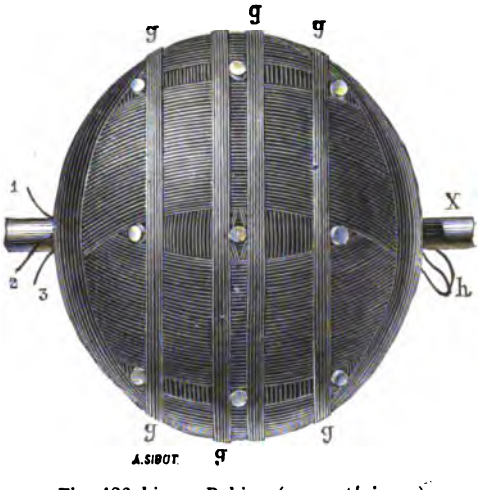


Fig. 126 *bis*. — Bobine (vue extérieure).

1° la moitié de la première bobine ; 2° la moitié de la seconde bobine ; 3° toute la troisième bobine ; 4° la moitié de la seconde bobine, et 5° la seconde moitié de la première bobine.

Cette cinquième opération termine l'enroulement et produit un contour à peu près sphérique.

Les trois bobines sont entièrement isolées et entrelacées de rubans, partout où il est nécessaire de maintenir les fils; elles sont cerclées par de gros fils en laiton formant quatre liens *gggg* pour éviter les détériorations pouvant résulter de l'influence de la force centrifuge.

Les trois entrées de fil à l'intérieur sont attachées en *h*, et les trois bouts sortants 1, 2, 3, sont reliés au collecteur.

La figure 127 montre ces connexions. Les bobines sont rem-

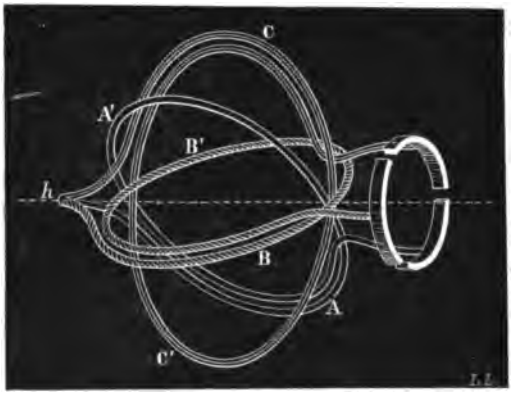


Fig. 127. — Connexions de la machine Thomson-Houston.

placées par leurs spires moyennes AA', BB', CC', placées à 120 degrés l'une de l'autre.

Collecteur.—Le collecteur est formé d'un anneau en cuivre partagé en trois segments égaux; lesquels segments sont fixés sur des traverses isolées et maintenus par deux disques calés sur l'arbre.

Les frotteurs sont au nombre de quatre; ils sont solidaires deux à deux.

La place occupée par les frotteurs, sur le collecteur, est indiquée (Fig. 128). Les frotteurs solidaires, dans leur position normale, forment deux à deux un angle de 60 degrés. Par suite de cette disposition, les trois bobines sont toujours actives, et on a, d'une manière générale, deux bobines reliées en quantité et mises en tension avec la troisième.

Si, par suite de la réduction du nombre des lampes en cir-

cuit, le courant devient trop intense, on recule les frotteurs B et B‴, et on avance les frotteurs B′ et B″ dans le sens de la rotation.

Les frotteurs solidaires sont ainsi distants de plus de 60 degrés. L'espace compris entre les balais non solidaires dépasse 120 degrés, c'est-à-dire qu'il est plus grand qu'un segment du collecteur. Chaque segment, en passant, mettra donc l'in-

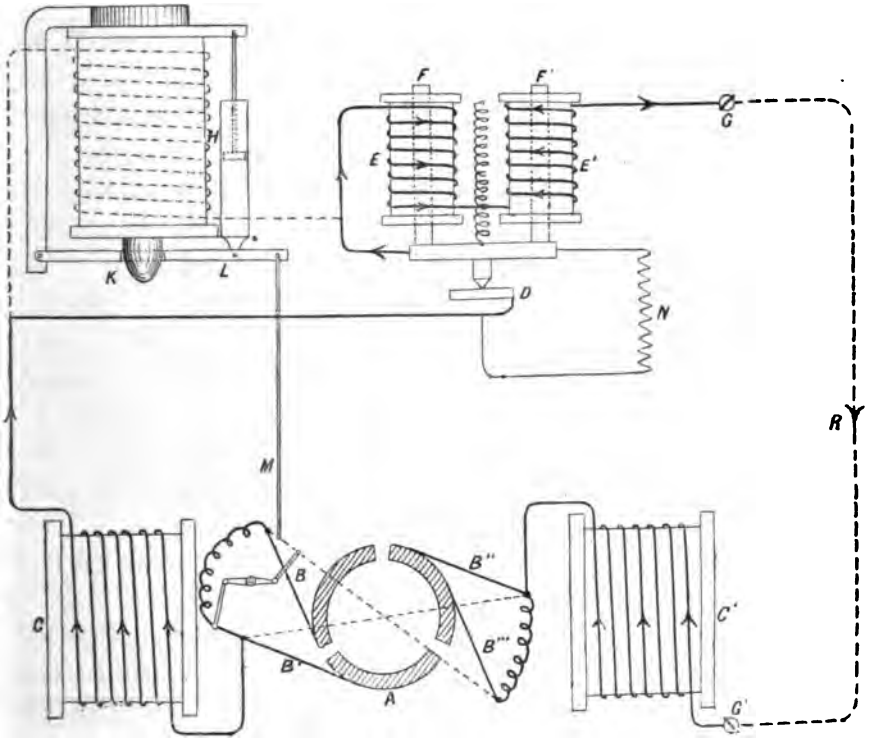


Fig. 128. — Régulateur du courant (machine Thomson-Houston).

duit en court circuit 6 fois par tour, et cela, pendant un temps d'autant plus long que les frotteurs solidaires auront été plus éloignés l'un de l'autre. La production de la machine se trouve ainsi diminuée, et l'intensité peut rester constante, si le déplacement des frotteurs est effectué convenablement, pendant toute la durée du fonctionnement.

A chaque court circuit, les inducteurs se désaimantent un peu et produisent un courant qui prolonge celui de la bobine et l'empêche de devenir nul dans le circuit extérieur. L'énergie

perdue par la désaimantation partielle est restituée lorsque l'induit se retrouve en circuit avec les inducteurs. L'inducteur est ici un véritable volant d'intensité. Si la dynamo était excitée par un courant constant provenant d'une source extérieure, elle fonctionnerait mal; si même nous en croyons les inventeurs, elle ne fonctionnerait pas.

Régulation automatique. — Le diagramme des appareils de régulation est représenté par la figure 128, dans laquelle R est la partie du circuit qui reçoit les lampes; G G′ sont les bornes de prise du courant. Le courant sort de l'induit par les frotteurs B B′, traverse les fils dont est garni le cylindre inducteur C, arrive en D où un contact le met en communication avec le double solénoïde E E′; de là, il passe, entre les bornes G et G′, par tous les régulateurs en circuit, traverse les fils du cylindre inducteur C′ et rentre dans l'induit par les frotteurs B″ B‴. Quand le courant dépasse son intensité de régime, les noyaux FF′ du double solénoïde E E′ sont attirés, le contact D est rompu, et l'électro-aimant H, se trouvant intercalé dans le circuit, attire son armature L, laquelle écarte, par l'intermédiaire de la tige M, les frotteurs solidaires B B′ et B″ B‴. Les frotteurs diamétralement opposés sont sur une même barre rigide, et ces barres sont reliées entre elles par un système de leviers, de manière à ce que les frotteurs B et B‴ parcourent trois fois autant de chemin que les frotteurs B′ et B‴.

Pour éviter les brusques déplacements de l'armature L, et par suite des frotteurs, on a placé, près de l'électro-aimant H, une petite pompe mobile à glycérine, dont le piston est fixe. Ce petit appareil amortit les mouvements de tout le système dans le cas d'un changement notable survenu à la résistance extérieure. En pratique, la position des noyaux F F′ est telle que le contact D subit une sorte de frémissement et ne laisse passer dans H qu'une partie du courant principal. Une résistance en charbon N, établie en dérivation sur le contact D, atténue les effets nuisibles des étincelles qui se produisent constamment en D.

Chaque nouvelle variation d'intensité détermine dans l'ensemble des organes de régulation une nouvelle position d'équilibre qui maintient constante l'intensité du courant. Le réglage est très rapide et très sûr; on peut éteindre ou allumer un grand

nombre de lampes à la fois sans troubler le régime des lampes en fonction.

Ce système de régulation n'agit pas seulement pour obvier aux inconvénients des variations de la résistance extérieure; il conserve le régime d'ampères constant, alors même que la vitesse du moteur est irrégulière. C'est là un avantage de premier ordre, surtout lorsque les dynamos sont actionnées par des machines hydrauliques ou par des moteurs à gaz.

Insufflation d'air. — Le souffleur du collecteur est un des organes originaux de la machine Thomson-Houston. Il a été imaginé pour permettre de faire usage de forces électromotrices dépassant 2 000 volts, avec des différences considérables de potentiel au passage d'un segment à l'autre, sans échauffement et sans détérioration des frotteurs et des collecteurs. Il est basé sur l'observation faite par M. Thomson qu'un courant d'air relativement faible, dirigé sur les contacts des frotteurs, interrompt toute traînée de poussières tendant à réunir les segments des collecteurs et à produire des étincelles permanentes, véritables arcs voltaïques, dont l'effet est de détruire rapidement les métaux entre lesquels ils jaillissent.

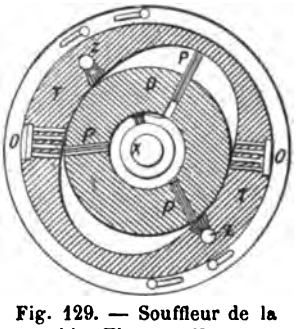


Fig. 129. — Souffleur de la machine Thomson-Houston.

Le souffleur (Fig. 129) se compose d'un petit ventilateur rotatif placé sur l'axe de la machine, entre le collecteur et le coussinet de l'arbre X.

Le cylindre de ce ventilateur a une chambre intérieure elliptique. Le piston est circulaire; son diamètre est égal au petit axe de l'ellipse, de sorte que les deux espaces libres aux extrémités du grand axe ont la forme de deux croissants. Des ailettes P en caoutchouc durci, placées à frottement doux dans des rainures radiales, sont constamment pressées, sous l'influence de la force centrifuge, contre la paroi extérieure du cylindre. L'air est aspiré par les ouvertures O O, dont les entrées sont munies d'une toile métallique très fine pour éviter les poussières, et il est refoulé par les orifices I qui communiquent par des tuyaux avec des ajutages à jets plats S et S′ (Fig. 129 *bis*).

En marche on obtient, à chaque tour, six jets d'air : trois dans chaque tuyau, se succédant alternativement et correspondant au passage des fentes du collecteur devant les extrémités des frotteurs. L'effet de cette soufflerie est si radical qu'on peut graisser le collecteur sans le moindre inconvénient, ce qui diminue le frottement entre ses segments et les frotteurs, et augmente beaucoup la durée de ces pièces.

Nous avons eu, à l'Exposition des Sciences et des Arts de 1886, l'occasion d'expérimenter en service courant une dynamo Thomson-Houston, et nous avons été très satisfait de son fonctionnement pendant les quatre mois qu'a duré l'Exposition.

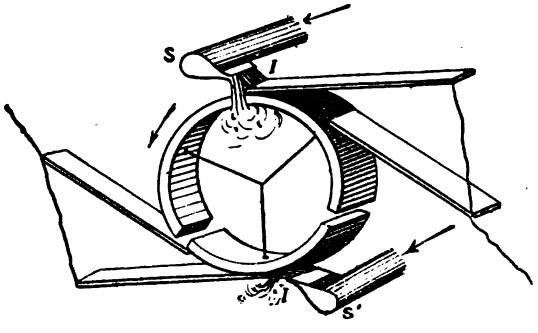


Fig. 129 *bis*. — Orifices de sortie de l'air.

Cette machine alimentait 30 régulateurs, à la vitesse de 850 tours par minute, en absorbant une puissance de 25 chevaux environ.

Elle débitait un courant régulier de 9,6 ampères, avec une différence de potentiel aux bornes variant de 40 à 1 600 volts.

Le diamètre maximum de l'induit était de $0^{m},56$, correspondant à une vitesse linéaire de 25 mètres par seconde.

Le fil de l'induit avait un diamètre de 2 millimètres et recevait 3 ampères par millimètre carré de section.

Le fil de l'inducteur avait un diamètre de $3^{mm},25$ et recevait 1,2 ampère par millimètre carré de section.

Le poids du fil de l'induit était de 108 kilogrammes, et celui du fil de l'inducteur, de 317 kilogrammes.

Le poids total de la machine était de 1 900 kilogrammes.

Ces quelques chiffres nous amènent à présenter une obser-

vation au sujet des poids de fil mis en œuvre dans une dynamo, pour l'obtention d'une puissance électrique déterminée. M. Gramme, qui cherche surtout à faire des machines pour l'industrie et non pour des éclairages publics, obtient généralement 100 watts par kilogramme de fil enroulé, tant sur l'induit que sur l'inducteur. MM. Thomson-Houston, qui visent les grandes installations et qui se préoccupent de l'ensemble du matériel et des frais permanents des stations centrales, obtiennent seulement 33 watts par kilogramme de fil.

Cela ne prouve rien contre la valeur réelle de leurs dynamos, car les appareils de M. Gramme et ceux de MM. Thomson-Houston sont également excellents, tandis que nous avons vu des dynamos d'autres systèmes produisant jusqu'à 200 watts par kilogramme de fil et qui, mal équilibrées, donnaient des résultats économiques détestables et nécessitaient des réparations continuelles.

C'est bien d'économiser la matière; encore faut-il savoir si une diminution sur le poids du fil n'entraîne pas à des dépenses de fonte, de main-d'œuvre, de puissance motrice, de frais d'entretien, etc., etc., beaucoup plus considérables que l'économie réalisée.

Le tableau ci-dessous indique les différents types de dynamos construits par la Société Thomson-Houston pour l'éclairage par l'arc voltaïque :

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LES DYNAMOS THOMSON-HOUSTON 1887 (ETATS-UNIS).

DÉSIGNATION des TYPES.	NOMBRE de TOURS par minute.	INTENSITÉ en AMPÈRES.	DIFFÉRENCE de potentiel maxima aux bornes, en volts.	POIDS TOTAL de la MACHINE.	PRIX.
				kilog.	fr.
C	1 250	9,6	150	270	2 750
E	1 000	—	400	540	5 000
G	900	—	500	860	7 000
H	950	—	600	900	7 500
I	850	—	800	1 200	8 500
J	850	—	900	1 230	9 000
K	850	—	1 000	1 270	11 000
L	850	—	1 250	1 750	15 000
M	850	—	1 500	1 900	16 500
P	820	—	2 500	2 350	20 000

Machine Thomson-Houston pour incandescence. — L'aspect extérieur des dynamos Thomson-Houston pour incandescence est le même que celui des dynamos pour arc voltaïque; mais les induits tout entiers et la garniture des inducteurs diffèrent beaucoup dans les deux systèmes. La machine pour incandescence a, en effet, un induit avec enroulement Siemens et collecteur multiple Gramme, et un inducteur à double enroulement; les appareils de régulation, le souffleur et les doubles frotteurs sont supprimés.

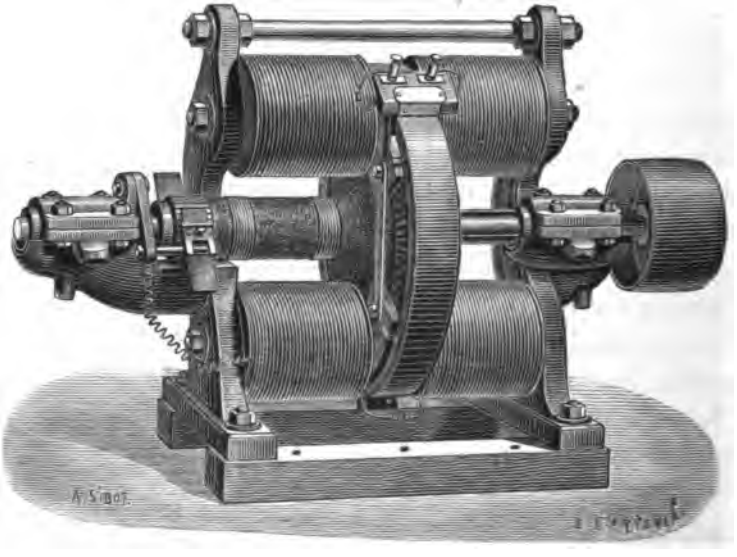


Fig. 130. — Machine Schuckert.

Sur les noyaux de l'inducteur est enroulé un fil relativement fin monté en dérivation sur les bornes de la machine. Puis le courant total, produit par l'induit, traverse un second fil enroulé sur le premier, mais suivant une inclinaison contraire par rapport à l'axe. Cette disposition permet de faire varier à volonté la différence de potentiel aux bornes en réglant la machine, et elle maintient cette différence constante pendant la marche, quelle que soit d'ailleurs la résistance totale du circuit extérieur.

Nous n'insisterons pas sur les avantages que présente cette machine, qui est moins originale et moins intéressante que l'autre En l'étudiant, MM. Thomson-Houston ont simplement voulu résoudre un problème déjà maintes fois résolu par d'autres

inventeurs, tout en conservant le dispositif principal de leur dynamo pour l'arc voltaïque; et, somme toute, ils ont fait un appareil aussi satisfaisant que la plupart des appareils congénères.

Machine Schuckert. — Les machines Schuckert (Fig. 130) diffèrent du type normal Gramme par les trois points de détail suivants :

1° La bobine allongée est remplacée, comme dans les machi-

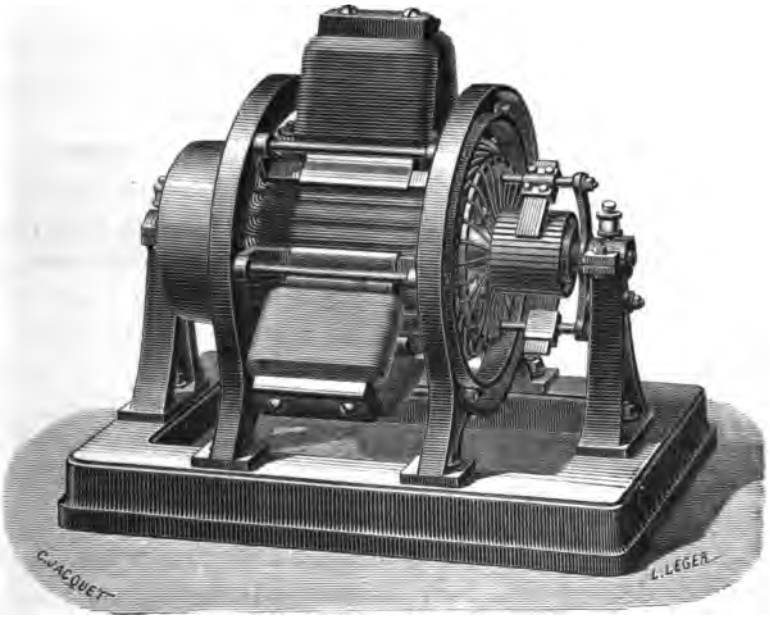


Fig. 131. — Machine Elphinstone et Vincent.

nes Gülcher, par un disque méplat, analogue à celui indiqué dans le brevet Gramme de 1869 (Fig. 100-101) ;

2° Les flasques sont ouvertes sur un des côtés, pour permettre de sortir l'induit facilement en cas de réparation ;

3° Les pièces polaires sont disposées verticalement, ce qui est la conséquence de l'emploi d'un disque.

M. Schuckert s'est fait de bonne heure le propagateur, en Allemagne, des machines à induit annulaire plat, et il est parvenu à construire d'excellentes dynamos sans sortir des formes primitives. Tous les organes de ses appareils sont soignés; les

paliers ont un graissage automatique ; les balais peuvent tourner pour recevoir le meilleur calage, et être facilement renversés, si la machine est appelée à tourner en sens opposé ; les collecteurs sont en dehors du bâti et peuvent être remplacés sans aucune difficulté, etc. Somme toute, si M. Schuckert n'a pas le mérite de l'invention, il a tout au moins celui de la bonne exécution ; ses dynamos sont très répandues dans l'Europe centrale et dans quelques parties de la France.

Machine Elphinstone et Vincent. — Cette dynamo que nous représentons (Fig. 131) est très originale, mais un peu compliquée.

L'inducteur est formé de 6 pôles extérieurs et de 6 pôles intérieurs. Entre ces pôles tourne un cylindre en papier mâché qui porte les fils induits. Ceux-ci sont constitués par des cadres plats placés obliquement sur le cylindre. Les cadres sont reliés à un collecteur Gramme. Deux balais suffisent pour recueillir l'ensemble des courants produits par les 6 pôles de l'inducteur.

Nous avons vu fonctionner cette machine à l'Exposition de Vienne, en 1883, et nous avons surtout remarqué ses petites dimensions eu égard à son débit. Elle nous paraissait alors réaliser assez pratiquement l'idée de M. Hefner-Alteneck qui consistait à faire tourner les fils de l'induit entre l'inducteur et un anneau de fer central. Les pôles de l'inducteur déterminaient dans l'anneau de fer des pôles de noms contraires, et le fil tournait entre deux pôles. Pour donner plus de puissance à leur machine, MM. Elphinstone et Vincent avaient simplement remplacé l'anneau par un second inducteur.

Machine Bürgin. — En 1877, M. Bürgin a combiné une dynamo qui est caractérisée par son induit (Fig. 132).

Au lieu d'un simple anneau, il y a dans cet induit plusieurs anneaux séparés, montés sur le même axe de manière à former une sorte de tambour. Les bobines partielles de ces anneaux sont toutes reliées aux segments d'un collecteur Gramme, de sorte que le courant est recueilli par deux frotteurs, de la manière ordinaire. Les anneaux ne sont pas ronds, mais hexagonaux ; chaque côté des hexagones reçoit une bobine partielle ; il y a donc 6 fois

autant de segments au collecteur qu'il y a d'anneaux sur l'arbre.

L'inducteur est composé de deux pièces de fonte légèrement arquées et réunies entre elles par 4 forts boulons. Deux tourteaux en bronze servent de supports à l'arbre.

Machine Crompton. — Dès que le brevet principal accordé à M. Gramme en Angleterre eut expiré, M. Crompton, en électricien compétent, abandonna les induits Bürgin pour les induits Gramme, et étudia des dynamos au point de vue industriel et commercial, comme l'inventeur le faisait lui-même en France; mais, tandis que ce dernier cherchait de nouvelles formes et de

Fig. 132. — Induit de la machine Bürgin.

nouveaux organes, M. Crompton étudiait surtout les détails de construction et perfectionnait les anciens types.

La dynamo qu'il construit actuellement est verticale. Elle se compose d'une plaque de fondation en fonte supportant les deux paliers de l'arbre et les noyaux de l'inducteur. Ceux-ci sont en fer doux et se composent de deux, de quatre ou de six pièces, suivant la puissance de la machine. Les barres sont doubles, c'est-à-dire qu'elles sont garnies de fil au-dessous et au-dessus de la bobine (disposition analogue à celle de la machine Bürgin redressée verticalement, en ce qui concerne les électro-aimants).

L'étude de ces nouvelles dynamos est bien comprise et la fabrication en est très soignée dans toutes les parties. Les modèles, mis en vente, sont nombreux et répondent aux divers besoins de l'industrie.

Le tableau suivant donne des renseignements généraux sur les machines manufacturées en 1887 par M. Crompton dans son usine de Chelmsford.

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LES DYNAMOS CROMPTON

1887 (ANGLETERRE).

NUMÉROS du TARIF.	NOMBRE DE TOURS par minute.	INTENSITÉ en AMPÈRES.	DIFFÉRENCE de POTENTIEL aux bornes en volts.	POIDS APPROXIMATIF.	PRIX des MACHINES Compound ou non.
				kilog.	fr.
50	460	410	110	3 046	10 000
—	675	600	110	—	—
40	470	325	110	2 539	8 750
—	700	490	110	—	—
30	550	225	110	1 838	7 500
—	950	380	110	—	—
20	525	120	110	1 523	6 250
—	800	285	110	—	—
15	550	100	110	1 168	5 000
—	900	225	110	—	—
10	600	85	110	914	4 500
—	1 150	168	110	—	—
8	690	120	55	558	3 500
—	690	60	110	—	—
—	1 350	120	110	—	—
—	1 250	18	650	—	—
6	730	90	55	406	3 000
—	730	45	110	—	—
—	1 360	154	55	—	—
—	1 400	90	110	—	—
4	600	55	55	355	2 250
—	600	25	110	—	—
—	1 500	110	65	—	—
—	1 250	66	110	—	—
—	1 500	18	300	—	—
2	1 100	90	55	—	1 375
—	1 500	10	250	—	—
1	2 000	15	55	88	625
—	1 600	30	55	152	750

Machine Brush. — La machine Brush (Fig. 133) se compose de deux électro-aimants en fer à cheval, placés en face l'un de de l'autre, pôles de mêmes noms en regard, et d'un anneau en fer,

denté, garni d'une série de bobines. Cette machine produit des courants alternatifs, redressés par des commutateurs. Les inducteurs présentent, de chaque côté de la bobine annulaire, deux épanouissements polaires occupant chacun les 3/8 de la circonférence.

L'anneau porte généralement 8 ou 12 bobines partielles, reliées deux à deux à un commutateur de forme spéciale. Il y a ainsi 4 ou 6 commutateurs qui, dans les nouvelles machines, sont réunis par paires. Sur chaque commutateur les segments sont séparés par un intervalle isolant qui correspond à 1/8 de la cir-

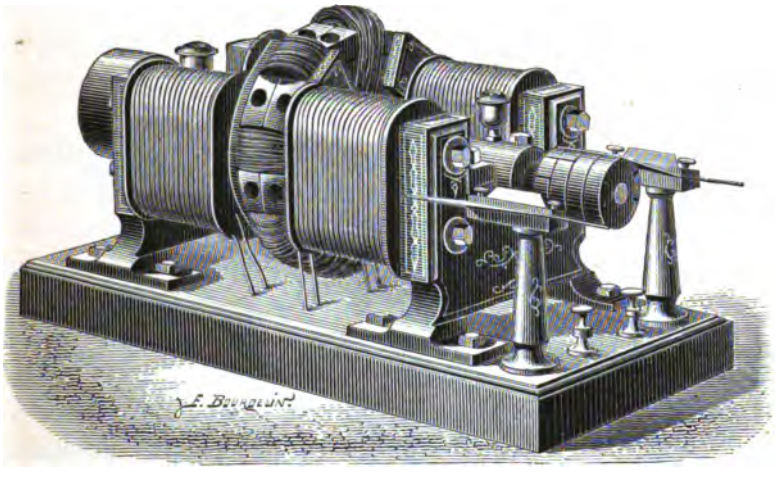


Fig. 133. — Machine Brush.

conférence ; et les choses sont disposées de telle sorte que, lorsqu'une bobine partielle traverse la zone neutre, les frotteurs se trouvent précisément sur la partie isolante du commutateur ; cela a pour conséquence de mettre cette bobine hors du circuit pendant 1/8 de tour.

En mettant deux commutateurs l'un contre l'autre, de manière à ce que les parties isolantes de chacun d'eux soient remplacées par des parties métalliques découpées dans l'autre, on exclut du circuit chaque paire de bobines lorsqu'elle est inactive, et les deux paires de bobines se trouvent accouplées en quantité lorsqu'elles concourent ensemble à la production du courant. A un moment quelconque, dans une machine à 8 bobi-

nes, il y a toujours une paire de bobines hors du circuit, et le courant traverse deux paires de bobines couplées en quantité, une paire seule en tension avec les autres, la résistance extérieure et les fils de l'inducteur.

L'avantage qui résulte de la mise hors circuit de la paire de bobines inactive consiste en ce que, si elle restait dans le circuit, cette paire de bobines offrirait une dérivation au courant et serait ainsi une cause de perte.

L'anneau des premières machines Brush était formé d'une seule masse de fer présentant de profondes rainures destinées à atténuer les courants de Foucault. Dans les machines récentes, l'anneau est fait au moyen de rubans de tôle et de feuilles de tôle mince présentant très peu de magnétisme rémanent et évitant les réactions magnétiques nuisibles.

La machine normale Brush alimente ordinairement 40 lampes à arc voltaïque placées dans un seul circuit. Elle tourne à la vitesse de 750 tours par minute, produit un courant de 10 ampères avec 2 000 volts de différence de potentiel aux bornes. Les grosses machines alimentent 65 lampes à arc.

Pour régler la puissance de sa dynamo, suivant le nombre de lampes en circuit, l'inventeur se sert d'une résistance variable mise en dérivation sur le circuit de l'inducteur. Cette résistance est constituée au moyen de petites plaques de charbon empilées, que l'armature d'un électro-aimant vient presser plus ou moins. Plus les plaques sont pressées, moins leur résistance est grande, et plus, par conséquent, il passe de courant par la dérivation. L'intensité du courant dans l'inducteur suit la loi inverse; elle diminue quand les plaques sont pressées et augmente lorsqu'elles sont écartées. Une pompe d'amortissement empêche les mouvements brusques de l'armature de l'électro-aimant régulateur.

On désigne souvent, mais à tort, sous le nom de machine Brush, une variété de dynamo Gramme à anneau plat dont nous représentons un des types (Fig. 133 *bis*) et dont le principe diffère absolument du principe Brush.

Cette machine a été étudiée par les ingénieurs de l'*Anglo-American Brush Company*; elle est à quatre pôles; mais, par suite

de connexions spéciales des segments du collecteur avec les bobines partielles, elle n'exige que deux balais pour recueillir les courants.

Le but des constructeurs, en faisant ces machines Gramme, était d'alimenter des lampes à incandescence exigeant une intensité de courant difficile à atteindre au moyen des véritables dynamos Brush.

Machine Mac Tighe. — La dynamo Mac Tighe (Fig. 134)

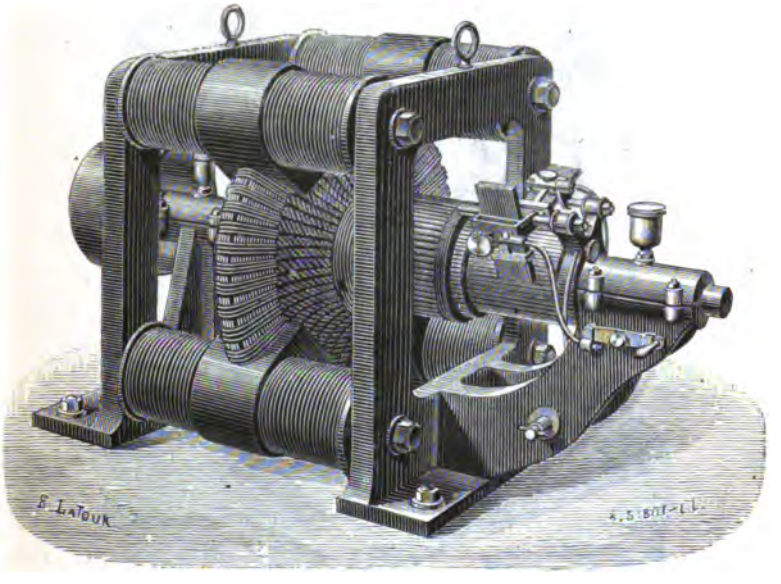


Fig. 133 *bis*. — Machine de la Cie Brush, à anneau Gramme.

possède deux barres d'électro-aimants verticales et deux pièces polaires en arc placées, en haut et en bas, dans l'axe même de la machine, et reliées aux noyaux de l'inducteur par huit fortes vis. La pièce polaire du bas porte des patins fixant la machine sur sa plaque de fondation. L'induit est un anneau Gramme d'une construction toute spéciale. Le fer doux est constitué au moyen d'une série de bagues plates ayant une ouverture de deux centimètres environ, ménagée sur leur pourtour. Ces bagues sont d'abord réunies sous forme de tambour, de manière que toutes les fentes se trouvent en ligne droite. Par l'ouverture ainsi

ménagée on introduit une série de bobines plates exécutées mécaniquement; puis, lorsque toutes les bobines sont en place, on fait tourner les bagues inégalement. On réunit ensuite tous les anneaux par quatre boulons, et les bobines partielles ne peuvent plus sortir.

Nous donnons ce renseignement à titre de curiosité, car la

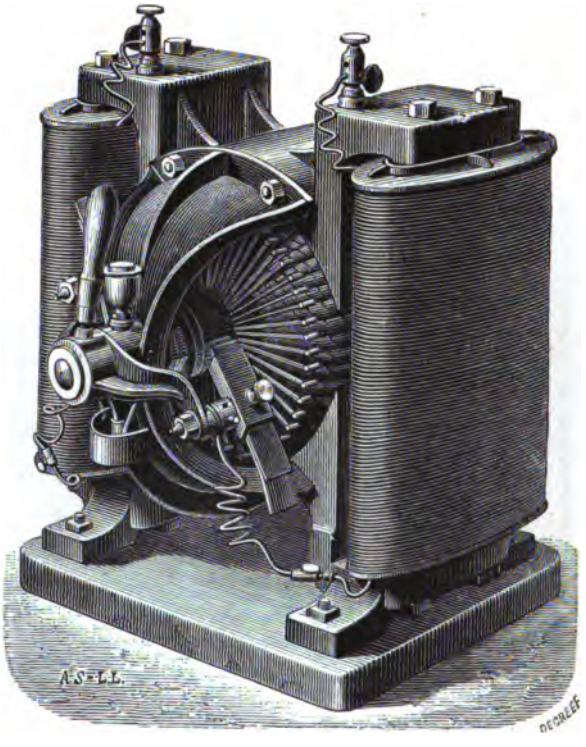


Fig. 134. — Machine Mac Tighe.

méthode employée par M. Gramme est beaucoup moins coûteuse et donne des résultats bien supérieurs à celle imaginée par M. Mac Tighe. Toujours est-il que, dans son ensemble, la machine que nous représentons est satisfaisante. Si l'inventeur veut la garnir d'un induit ordinaire, elle deviendra excellente.

Machine Lontin. — La dynamo combinée par M. Lontin (Fig. 135) se compose d'un disque central en fer P sur lequel sont fixées des dents rayonnantes en fer D D équidistantes, et d'un électro-

aimant en fer à cheval AA_1. Les dents en fer sont recouvertes de fil de cuivre, et forment autant de bobines partielles dont les pôles sont à égale distance de l'axe de rotation. Le fil est enroulé de manière à former un circuit sans fin; l'extrémité de chaque bobine est attachée au commencement de la bobine suivante.

Pour recueillir les courants, M. Lontin se sert d'un collecteur Gramme composé d'autant de segments qu'il y a de bobines partielles. Chacun de ces segments est relié à un des fils de connexion des bobines entre elles. Deux lames de cuivre a a_1

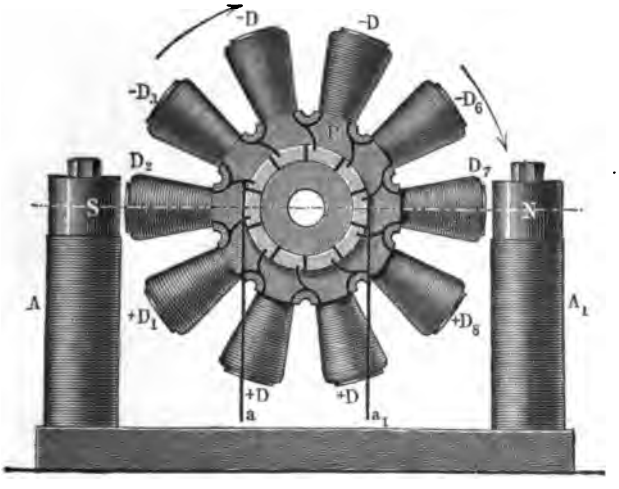


Fig. 135. — Machine Lontin.

frottent sur le collecteur et mettent en communication les circuits intérieur et extérieur.

En supposant un mouvement de rotation dans le sens indiqué par les flèches, on voit : 1° que les bobines D_2 et D_7 ne sont le siège d'aucun courant d'induction; 2° que les bobines en dessous, de D_1 à D_5, sont le siège d'un courant allant de N à S; 3° que les bobines en dessus, de D_3 à D_6, sont le siège d'un courant allant de S à N. Il en résulte que, en plaçant les frotteurs sur la ligne des pôles, on recueille le courant de deux groupes de quatre bobines en tension; ces deux groupes se trouvent ainsi réunis en quantité.

La dynamo de M. Lontin est une des premières qui aient été réalisées après celle de M. Gramme. Nous en connaissons deux

applications importantes : l'une servant à l'éclairage de la place du Carrousel à Paris, l'autre à l'éclairage d'une halle à marchandises à la gare de Lyon.

Machine Andrews. — La figure 136 représente l'ensemble de la dynamo Andrews. L'induit, qui est un anneau Gramme, tourne dans un inducteur à quatre pôles, formé de barres de fer forgé disposées parallèlement à l'axe central. Sur chaque ensemble de barres il y a deux bobines qui agissent simultanément de manière à former

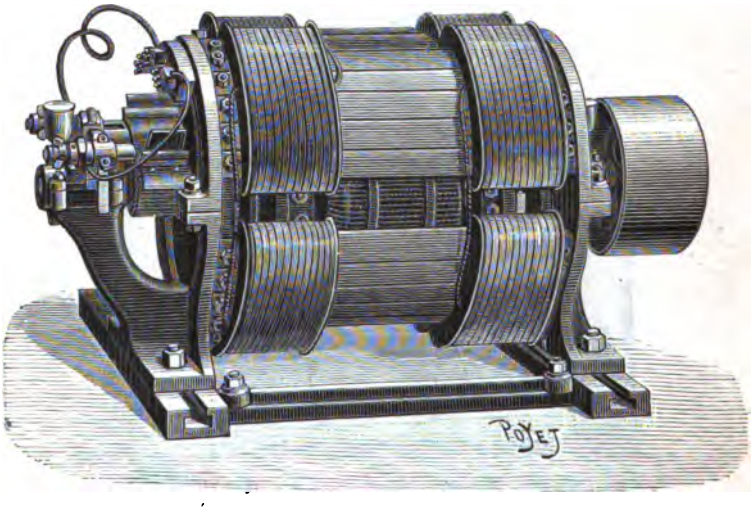


Fig. 136. — Machine Andrews.

un pôle entre elles. L'arrangement est symétrique ; il n'y a donc aucune torsion dans les lignes de force. Comme il y a quatre pôles dans le champ, il s'ensuit qu'il se trouve quatre zones neutres et que, si on adoptait les connexions ordinaires entre les segments du collecteur et les bobines partielles de l'induit, il faudrait quatre frotteurs pour recueillir les courants. Mais ces connexions sont établies pour n'exiger que deux frotteurs simples, placés à 90 degrés l'un de l'autre, comme dans plusieurs des machines précédentes.

Machine Weston. — M. Weston est le plus ancien constructeur de machines électriques industrielles des États-Unis. Nous

avons vu, en 1876, à Philadelphie, plusieurs appareils, sortant de ses ateliers, qui fonctionnaient dans de bonnes conditions. Ils étaient destinés à la galvanoplastie. Depuis, M. Weston a combiné une foule de machines et s'est arrêté à la dynamo que nous représentons (Fig. 137).

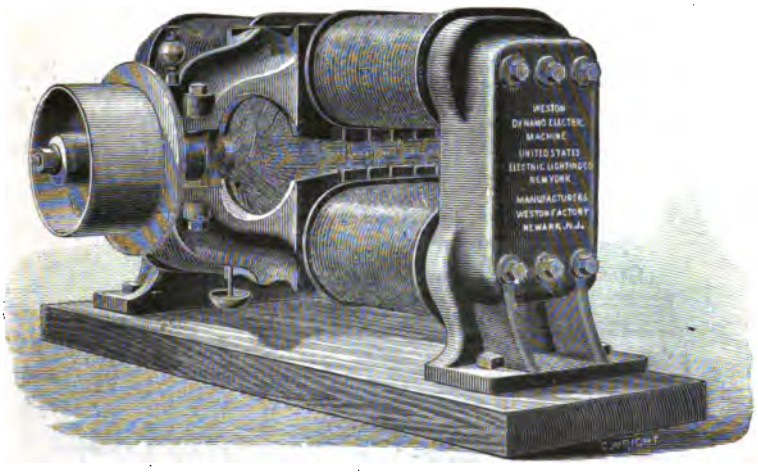


Fig. 137. — Machine Weston.

Cette dynamo a son inducteur composé de deux noyaux rectangulaires en fonte, assemblés avec deux flasques verticales rustiques, également en fonte.

Les pièces polaires et les supports de l'arbre font corps avec

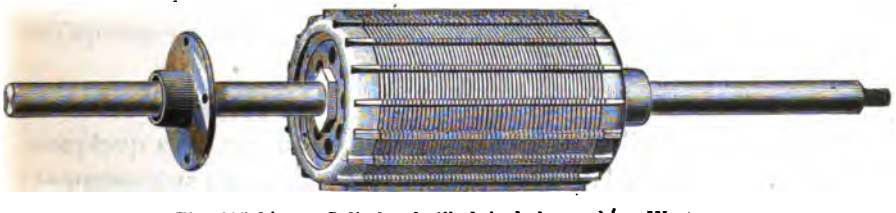


Fig. 137 *bis*. — Cylindre de l'induit de la machine Weston.

les noyaux de l'inducteur. L'appareil est solidement bâti et bien équilibré dans toutes ses parties au point de vue mécanique.

L'induit est du genre Siemens, avec cette différence que le fil de fer de la carcasse est remplacé par une série de disques en fer (Fig. 137 *bis*), percés de trous pour permettre la ventilation,

et armés de dents rayonnantes pour faciliter la pose des fils. Ces disques sont réunis par 4 boulons, et clavetés sur l'arbre. L'enroulement des bobines partielles est analogue à l'enroulement symétrique de la machine Siemens.

Dans les types à haute tension, l'induit est composé de deux enroulements complets, séparés et distincts, indiqués par les traits blancs et noirs sur la figure 138.

Pour conserver une intensité constante dans le circuit, lorsqu'on alimente des lampes à arc, M. Weston se sert d'un régulateur à électro-aimant agissant sur un rhéostat à l'aide d'un mécanisme à encliquetage.

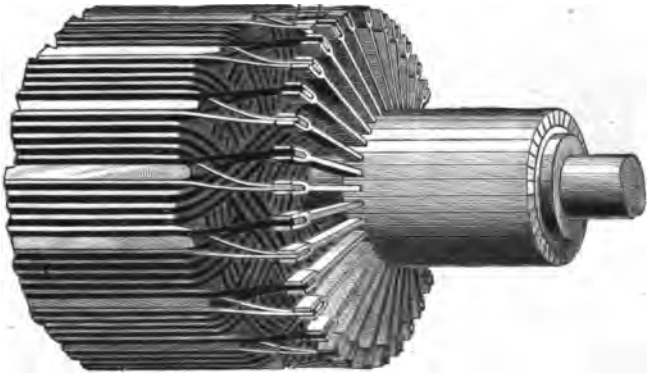


Fig. 138. — Double enroulement des bobines Weston.

Ce rhéostat augmente la résistance de l'électro-aimant et diminue, par suite, le champ magnétique au fur et à mesure qu'on supprime des arcs.

Dans les installations particulières, le mécanisme est mû à la main ; l'appareil à électro-aimant n'est usité que dans quelques stations centrales, la pratique ne l'ayant pas encore suffisamment consacré.

Il y a quelques années, plusieurs rues de Londres étaient éclairées au moyen d'appareils Weston, et la lumière était fort satisfaisante ; mais des considérations économiques ont fait supprimer cet éclairage qui était trop restreint pour être réalisé à bon marché. Aux États-Unis, il y a plus de 20 000 lampes à arc alimentées par le même système, et ce nombre croît beaucoup

tous les mois. En France, nous ne connaissons qu'une usine qui ait en service des dynamos Weston, et nous savons que leur marche est sûre et régulière.

Machine Manchester. — MM. Mather et Platt construisent une dynamo, à laquelle ils ont donné le nom de *type Manchester*, que nous représentons (Fig. 139), et qui constitue une des meilleures études qui aient été faites de la machine Gramme sans le concours de l'inventeur.

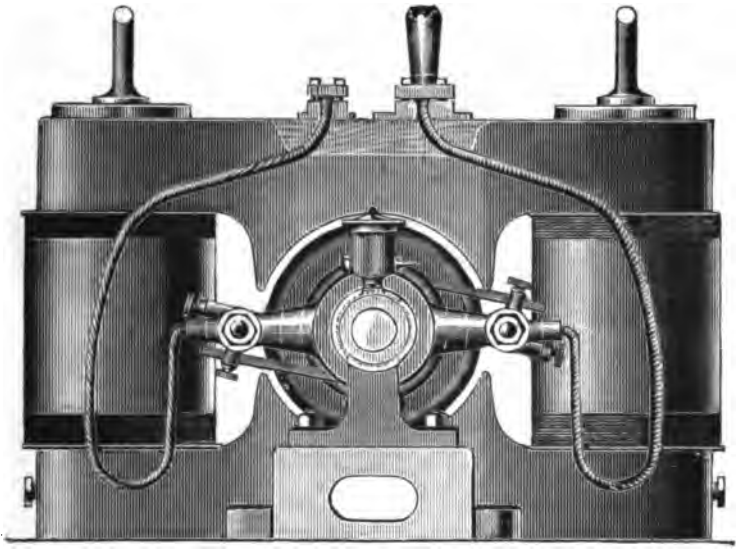


Fig. 139. — Machine Manchester.

L'inducteur est composé de deux noyaux cylindriques en fer, gros et courts, et de deux traverses horizontales en fonte d'une grande section, à cause de la faible perméabilité magnétique de la fonte. Ces deux traverses portent les développements polaires et remplissent ainsi deux fonctions.

L'induit n'a reçu aucune modification importante; mais il est bien établi et bien assujetti sur l'arbre. Le collecteur a 40 segments en bronze dur isolés au mica; il est assez large pour recevoir plusieurs frotteurs sur les mêmes lignes de contact.

L'excitation de l'inducteur est compound. La différence de

potentiel aux bornes reste tellement constante que, sous les plus grands écarts de charge, au dire des constructeurs, elle ne varie pas de 1 1/2 pour 100.

C'est le même type de machine que M. Brown, directeur des ateliers d'Oerlikon, a adopté dans sa fabrication. Seulement, au lieu de mettre la poulie en dehors du palier, M. Brown la place à l'intérieur, entre le palier et l'induit, ce qui est sans aucune importance et ne motive pas suffisamment, à notre avis, une demande de brevet d'invention.

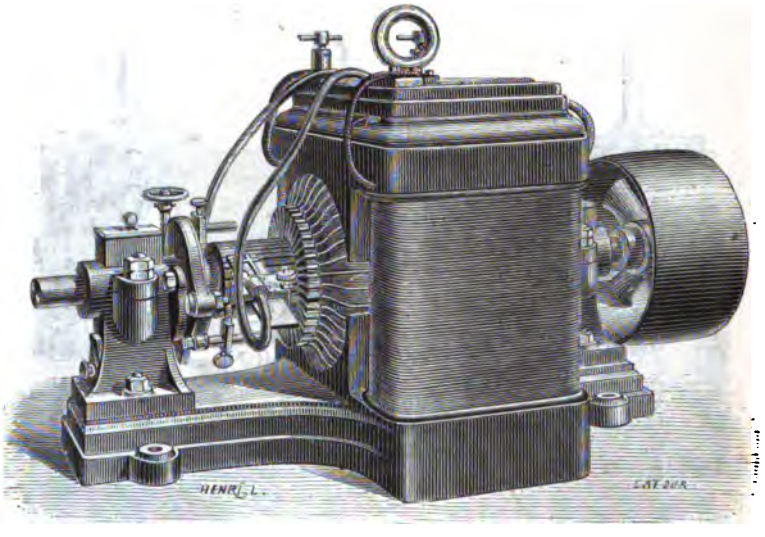


Fig. 139 *bis*. — Machine Westminster.

Mais, si ces machines n'ont aucun caractère de nouveauté, elles sont caractérisées par une excellente fabrication, leur assurant un bon rendement et une longue durée.

« En ce qui concerne la durée de nos machines, disent les gérants de l'usine d'Oerlikon, nous l'avons portée à sa limite. Les arbres sont en acier durci et poli, et les coussinets garnis de métal anti-friction de première qualité. Nous pouvons garantir la durée de nos collecteurs de 5 000 à 10 000 heures (10 à 20 ans), suivant l'entretien plus ou moins soigné, et les balais peuvent fournir un service de 1 000 à 2 000 heures. »

Bien que ceci soit un peu exagéré, nous le notons comme un simple spécimen des avantages que les fabricants suisses

peuvent faire valoir, assez légitimement d'ailleurs, pour recommander la dynamo étudiée par des Anglais.

Machine Westminster. — MM. Latimer Clark, Muirhead et Cie construisent actuellement un type de dynamo, que nous représentons (Fig. 139 *bis*) et auquel ils ont donné le nom de *Westminster*.

Comme disposition mécanique cette machine est à peu près

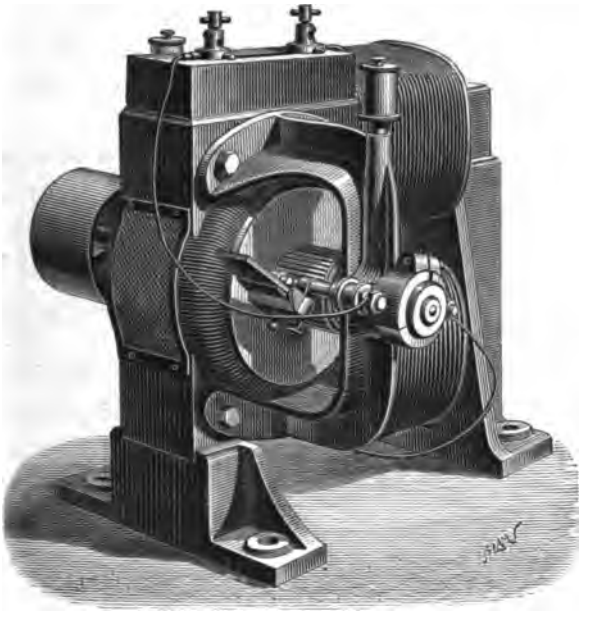


Fig. 140. — Machine Phénix.

identique à la précédente; les noyaux de l'inducteur sont plats au lieu d'être ronds, ce qui ne saurait leur constituer une bien grande originalité.

L'induit est un anneau Gramme dont l'âme, formée de rondelles minces juxtaposées, est maintenue sur l'arbre au moyen de deux croisillons en bronze munis de deux nervures longitudinales. Les rondelles sont séparées par des feuilles de papier enduites de gomme laque.

Les balais sont fixés à un disque en bronze qui tourne à frottement doux sur l'arbre et auquel on transmet, par un système

de vis et d'engrenage hélicoïdal, le mouvement d'une manivelle placée à portée de la main.

La machine Westminster a tous ses organes bien groupés; son exécution est soignée; son rendement mécanique est naturellement aussi élevé que celui de la machine Manchester.

Machine Phénix. —MM. Paterson et Cooper, de Londres, ont adopté la disposition (Fig. 140), dans le but de diminuer la hauteur de l'axe des machines Gramme du type supérieur. Ils ont ainsi constitué une dynamo qui ne manque pas de mérite, mais qui est un peu moins stable et un peu plus coûteuse que celle de l'inventeur.

L'âme de l'induit est formée de disques en tôle mince. Les noyaux des inducteurs sont en fer forgé. Les lames du collecteur sont isolées au mica. Les supports de l'arbre sont reliés aux pièces polaires. L'ensemble de la partie électrique est bien équilibré et ne donne lieu à aucune étincelle aux balais.

Machine Clarke. — L'inducteur de la machine Clarke (Fig. 140 *bis*) se compose de quatre noyaux horizontaux, formant deux groupes distincts, et de développements polaires entourant non seulement la surface extérieure, mais encore une grande partie de la surface intérieure de l'induit. Le champ magnétique est constitué par des pôles conséquents disposés de telle sorte que les pièces polaires intérieures sont spécialement aimantées par les électros courts et les pièces polaires extérieures par les électros longs.

L'inventeur, ayant reconnu que cette construction ne suffisait pas pour aimanter les pièces polaires intérieures aussi fortement que les pièces polaires extérieures, a ajouté deux électros auxiliaires qui relient les pièces polaires intérieures et qui sont excités par le même courant que les autres.

L'anneau est maintenu sur son arbre par un manchon à ailettes étroit, qui ne règne que dans la région placée près du collecteur afin de laisser libre une grande partie des fils intérieurs de l'induit.

Cette machine est un peu compliquée et son rendement n'a

rien de remarquable; nous la signalons surtout à cause de son caractère particulier d'originalité.

Machine Thury. — La machine Thury (Fig. 141), construite, en Suisse, par MM. Cuénod, Sautter et Cie, et, en France, par MM. Sautter, Lemonnier et Cie, est surtout caractérisée par la faible

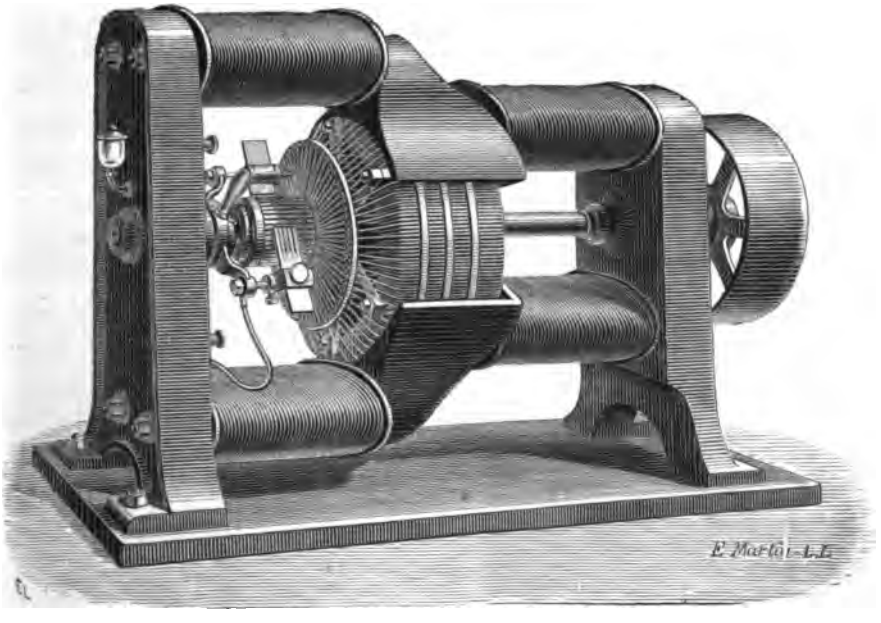


Fig. 140 *bis*. — Machine Clarke.

vitesse de son induit. C'est une combinaison assez ingénieuse des machines Gramme et Siemens.

L'inducteur est composé de noyaux méplats analogues à ceux de la machine représentée (Fig. 106). La seule différence existant entre les deux appareils consiste dans l'emplacement des pièces polaires que M. Gramme fixe au milieu de chaque noyau, et que M. Thury dispose à chaque angle, entre deux noyaux. Le résultat est le même; il n'y a pas de place perdue, pas de métal inutile.

L'induit est du genre Hefner-Alteneck. Les fils sont enroulés sur un tambour en fer; mais, comme la machine Thury est à 6 pôles, au lieu d'être reliés entre eux à la base postérieure de

l'induit suivant des diamètres ou des cordes très peu différentes du diamètre, ils sont reliés suivant des cordes correspondant à 1/6 de la circonférence.

Il faut autant de frotteurs qu'il y a de pôles; cependant, il est facile d'établir les connexions des bobines partielles avec les segments du collecteur de manière à n'avoir que deux frot-

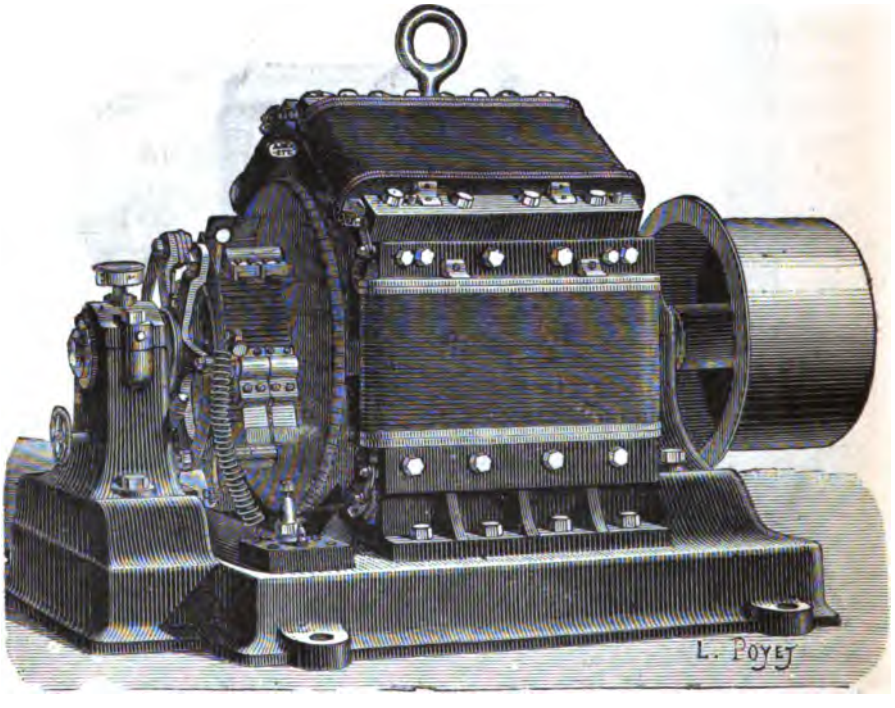


Fig. 141. — Machine Thury.

teurs, comme MM. Sautter, Lemonnier et Cie, l'ont récemment fait dans leur appareil complet destiné à l'éclairage des navires.

L'inventeur fait surtout valoir l'avantage des faibles vitesses pour préconiser sa machine; il est donc utile d'insister un peu sur ce point et d'examiner si cet avantage a une importance réelle.

Constatons d'abord que les constructeurs appellent généralement *faible vitesse* un petit nombre de tours par minute, sans indiquer le diamètre de l'induit; et, comme les machines qui font

peu de tours à la minute sont précisément celles dont les induits sont les plus grands, il n'est pas rare de constater que, au point de vue des inconvénients de la force centrifuge, les machines à *faible vitesse* sont les moins bonnes. Les commandes directes par le moteur sont rarement exigées; mais quand elles le sont, il est incontestable qu'une machine à vapeur va mieux à 100 tours qu'à 400, par exemple; il est vrai d'ajouter que nous ne connaissons aucune dynamo qui fasse moins de 250 tours par minute, et que nous avons expérimenté des moteurs à grande vitesse qui donnaient d'aussi bons résultats à 600 tours qu'à 250. Mais nous n'amoindrirons point l'avantage et nous conviendrons volontiers que, dans des cas extrêmement rares, il sera préférable de posséder un appareil dont la vitesse ne dépasse pas 250 tours par minute. Dans la généralité des applications, les grandes vitesses ne présentent aucun inconvénient; les machines sont alors moins coûteuses et moins volumineuses à égale puissance; les courroies ont besoin d'être moins larges; les poulies moins grandes, etc., etc. Cela est si vrai que, après avoir prôné les faibles vitesses, M. Thury a mis en vente une série de machines faisant de 900 à 1 400 tours par minute.

Ces nouvelles machines n'ont que deux pôles. Leur inducteur est formé d'un cadre ayant ses barres inférieure et supérieure garnies de fils, et ses barres verticales pourvues en leur milieu d'un noyau perpendiculaire également garni de fil et terminé par les pièces polaires, de sorte que cet inducteur paraît posséder trois barres d'électro-aimants horizontales, celle du milieu étant interrompue au centre pour donner passage à l'induit. Celui-ci se trouve ainsi complètement enveloppé par les bobines de l'inducteur.

Près de la poulie se trouve un *volant ventilateur* d'un assez grand poids, dont le rôle est de corriger les irrégularités du moteur et d'éviter l'échauffement anormal des fils de l'induit.

Le tableau (page 260) donne des renseignements généraux sur les dynamos Thury mises en vente en 1887. Les prix varient de 0 fr. 20 à 1 fr. le watt et de 3 fr. à 11 fr. le kilogramme.

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LES DYNAMOS THURY 1887 (SUISSE).

DÉSIGNATION des MACHINES.	NOMBRE de TOURS par minute.	INTENSITÉ en AMPÈRES.	DIFFÉRENCE de POTENTIEL aux bornes en volts.	POIDS	PRIX
				kilog.	fr.
H_4	250	750	110	3 500	16 000
H_3	350	450	110	2 500	10 000
H_2	450	225	110	1 300	6 500
H_1	600	150	110	1 000	4 800
C_6	900	110	110	900	3 500
C_5	1 000	75	110	700	2 800
C_4	1 100	50	110	400	2 000
C_3	1 200	35	110	250	1 600
C_2	1 300	20	110	170	1 250
C_1	1 400	10	110	90	1 000

CHAPITRE X

DYNAMOS A COURANTS ALTERNATIFS

Machine de l'Alliance. — La machine combinée par Nollet et

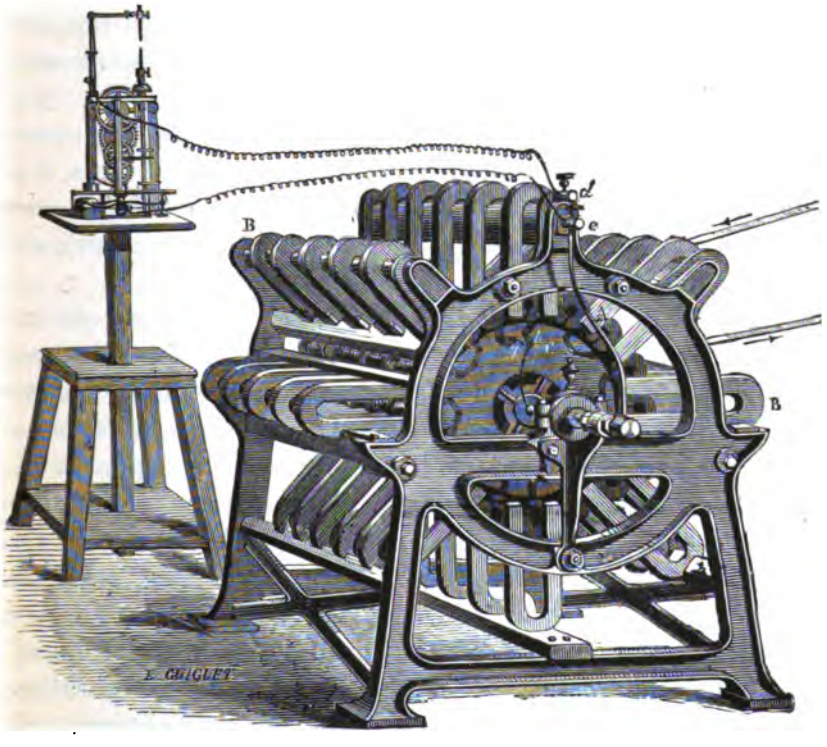


Fig. 142. — Machine de l'Alliance.

désignée sous le nom de *machine de l'Alliance* (Fig. 142) est la première qui ait servi à la production de la lumière électrique.

Cette machine est composée d'un certain nombre de rouleaux

en bronze C, armés à leur circonférence de 16 bobines chacun. Ces rouleaux sont clavetés sur un arbre horizontal actionné par un moteur quelconque, et ils tournent entre huit rangées de faisceaux aimantés B B, rayonnant autour de l'axe et supportés parallèlement au plan des rouleaux par un bâti spécial. Comme chaque aimant a deux pôles, une série présente 16 pôles régulièrement espacés; il y a donc autant de pôles que de bobines, de telle sorte que, quand l'une d'elles est en face d'un pôle, les 15 autres se trouvent également en face des pôles correspondants. Les machines ont ordinairement 4 disques ou 6 disques, ce qui correspond à 64 ou 96 bobines. Toutes les bobines sont dans le même circuit. L'un des fils du circuit total aboutit à l'arbre qui se trouve en communication avec le bâti par l'intermédiaire des coussinets; l'autre extrémité est fixée à un manchon concentrique à l'arbre, isolé de lui par une substance non conductrice.

Le courant change de sens chaque fois qu'une bobine passe devant les pôles des aimants; or, s'il y a 16 pôles d'aimants, il y aura 16 changements par tour des disques; et, comme la machine fait 400 tours par minute (plus de 6 tours par seconde), on aura au moins 100 changements de sens par seconde.

Au début, on redressait les courants au moyen d'un commutateur, et on obtenait un résultat défavorable; les étincelles qui se produisaient au contact des frotteurs et du commutateur mettaient rapidement ces pièces hors d'usage. Sur l'avis de M. Masson, professeur de physique à l'École centrale, on supprima les commutateurs, et on employa directement les courants alternatifs. On put, dès lors, se servir de la machine de l'Alliance pour un grand nombre d'expériences de projections lumineuses, et même pour quelques applications durables.

M. Le Roux, qui s'est occupé l'un des premiers de l'emploi des courants alternatifs pour l'éclairage, a donné l'explication suivante sur la persistance du foyer lumineux ainsi obtenu :

« Puisque le sens du courant change, et cela une centaine de fois par seconde, il faut nécessairement qu'à chaque changement l'intensité du courant passe par zéro ; ainsi, cent fois par seconde, l'étincelle cesse de jaillir entre les deux charbons, et cent fois par seconde l'arc voltaïque cesse d'exister. La lumière

ne nous en paraît pas moins continue ; cela est dû à la persistance bien connue des impressions de la lumière sur la rétine, et aussi à ce que l'arc proprement dit n'entre que pour une fraction dans la production de la lumière électrique, le reste étant dû à l'incandescence des charbons, incandescence qui ne cesse pas immédiatement avec le passage du courant. Mais, comme on sait que les courants employés ne jouissent pas d'une tension suffisante pour que, dans les circonstances ordinaires, l'étincelle jaillisse à distance, qu'il suffit d'un souffle pour interrompre l'arc voltaïque, et qu'alors celui-ci reste éteint jusqu'à ce que les charbons aient été ramenés au contact et écartés de nouveau, on s'étonne tout d'abord que les cessations du courant, reproduites un aussi grand nombre de fois par seconde, n'amènent pas l'extinction de la lumière. Le fait est difficile à expliquer : la tension du courant n'est pas suffisante pour que l'étincelle jaillisse à distance entre les charbons froids ; mais, quand ceux-ci sont au préalable portés à l'incandescence par le passage même du courant, l'atmosphère qui les entoure est devenue plus conductrice par l'élévation de la température, et sans doute aussi par la présence de particules charbonneuses; la durée de l'interruption étant très courte, les qualités de l'atmosphère qui entoure les charbons n'ont pas le temps d'être modifiées sensiblement, et le courant peut recommencer à passer. Les interruptions, en admettant que l'évolution du changement de courant soit accomplie pendant que le centre de la bobine parcourt un arc d'un millimètre, n'ont d'ailleurs qu'une durée d'un dix-millième de seconde. »

Les pôles de la lampe étant alternativement de noms contraires, il en résulte que les deux charbons s'usent également. La lumière électrique tourne, pour ainsi dire, continuellement autour des charbons, et éclaire successivement chaque point de l'horizon avec des variations d'intensité assez considérables.

Les machines de *l'Alliance* sont employées aux phares de la Hève, au phare Gris-Nez, près de Calais, aux phares de Cronstadt, d'Odessa, etc. ; elles ont été expérimentées sur plusieurs navires et dans divers locaux industriels; mais elles n'ont pas

donné de résultats pratiques assez satisfaisants pour être conservées définitivement.

Leur fabrication est aujourd'hui complètement arrêtée.

Machine Wilde. — M. Wilde, dès 1867, a combiné la machine (Fig. 143) dont les effets étaient beaucoup plus considérables, à volume égal, que ceux de la machine de *l'Alliance*.

Le champ inducteur fixe de la machine Wilde se compose de deux côtés verticaux portant chacun une couronne d'électro-aimants, à noyaux de fer, disposés de telle sorte que leurs pôles libres soient opposés les uns aux autres ; les pôles successifs de chaque couronne sont alternativement N et S ; et un pôle N sur une des couronnes est opposé à un pôle S sur l'autre couronne.

L'induit est formé d'un disque mobile portant une série d'électro-aimants dont les axes sont parallèles à l'axe de rotation. Il y a autant d'électro-aimants dans l'induit que dans une des couronnes de l'inducteur.

Les lignes de force étant dirigées en sens contraires entre les bobines fixes qui sont alternativement S N et N S, les bobines mobiles sont successivement parcourues par des courants alternatifs. (Ces bobines doivent, bien entendu, être reliées de telle sorte que leurs actions respectives ne soient pas en opposition mutuelle).

Pour exciter les électro-aimants de l'inducteur, l'inventeur redressait, à l'aide d'un commutateur, les courants produits par une ou deux des bobines mobiles. Les courants principaux engendrés par les autres bobines de l'induit n'étaient pas redressés, mais simplement recueillis par un collecteur et utilisés dans des bougies ou dans des régulateurs à arc voltaïque, disposés pour recevoir des courants alternatifs.

Machine Dandeu et Chertemps. — Cette machine ne diffère de celle de M. Wilde que par le mouvement relatif des induits et des inducteurs : dans les machines Wilde les inducteurs sont fixes et les induits tournent, tandis que, dans les machines Dandeu et Chertemps, les inducteurs tournent et les induits sont fixes.

Les inducteurs sont formés par deux plateaux en fonte fixés

parallèlement sur un même arbre et supportant un certain nombre d'électro-aimants droits. Ils se meuvent en regard du système induit fixé au bâti.

Le système induit se compose d'un plateau construit avec des matières non conductrices de la chaleur et de l'électricité, agglomérées et fortement comprimées. Dans ce plateau sont encastrés autant d'électro-aimants droits qu'il y a de bobines sur chacun des plateaux du système inducteur. Le courant d'un des

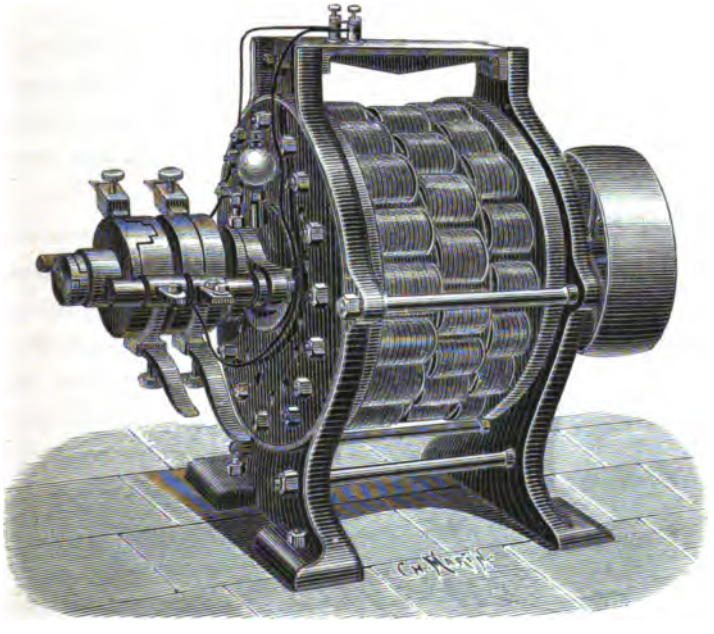


Fig. 143. — Machine Wilde.

électro-aimants de l'induit est redressé pour l'excitation des électro-aimants inducteurs. Les autres bobines induites sont toutes reliées entre elles par l'intermédiaire d'une table en bois portant des fiches métalliques à l'aide desquelles on groupe convenablement les courants alternatifs utilisables.

Machine Gramme. — M. Gramme, avant d'inventer la machine à courant continu qui porte son nom, avait beaucoup étudié les machines à courants alternatifs, et l'on peut voir dans son brevet du 26 janvier 1867 le germe de plusieurs idées qui, depuis,

ont été réalisées par d'autres inventeurs. Ainsi, la disposition d'une série de bobines rayonnant autour d'un disque en fer, et formant un véritable pignon d'induction; la forme d'œufs donnée aux bobines afin de loger la plus grande quantité possible de fil à induire dans un espace donné; la position des aimants qui, au lieu d'être placés dans le sens des rayons, sont couchés longitudinalement, et parallèlement à l'axe, etc., etc. C'est également dans ce brevet que se trouve la première indication donnée en France de la possibilité d'intercaler les électro-aimants dans le circuit des bobines pour en augmenter la puissance.

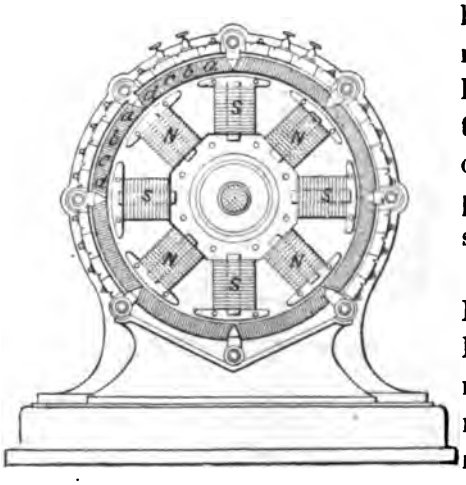


Fig. 144.
Machine Gramme (coupe transversale).

Dès que l'invention de M. Jablochkoff fut connue, M. Gramme laissa provisoirement ses études sur les courants continus, pour combiner une machine à courants alternatifs propre à brûler lesdites bougies.

Voici une description succincte de l'appareil auquel il s'est arrêté :

La machine (Fig. 144 et 144 *bis*) se compose : 1° de deux flasques à peu près circulaires, reliées entre elles d'une manière rigide par huit entretoises cylindriques; 2° d'un arbre central portant, par l'intermédiaire de deux tourteaux en fonte et d'un moyeu octogonal également en fonte, huit barres d'électro-aimants; 3° d'une série de bobines en cuivre *a b c d* enroulées sur un fer doux annulaire; 4° d'un socle servant à fixer la machine sur son massif; et 5° des diverses pièces accessoires destinées à assurer la stabilité de l'ensemble, à protéger les organes en mouvement et à réunir solidement les diverses parties fixes de l'appareil.

Deux rondelles en cuivre, fixées sur l'arbre et sur lesquelles frottent deux balais, servent à introduire un courant dans l'in-

ducteur. L'excitation se fait par une petite machine Gramme à courant continu installée près de la machine principale.

L'inducteur a 8 pôles simples, alternés de façon qu'un pôle mobile S ou boréal succède toujours à un pôle N ou austral. Les armatures sont très épanouies. Les bobines de l'induit sont au nombre de 32, ce qui permet d'obtenir à volonté 32 courants distincts ou de coupler les fils de manière à n'avoir que 16, 8 ou seulement 4 circuits.

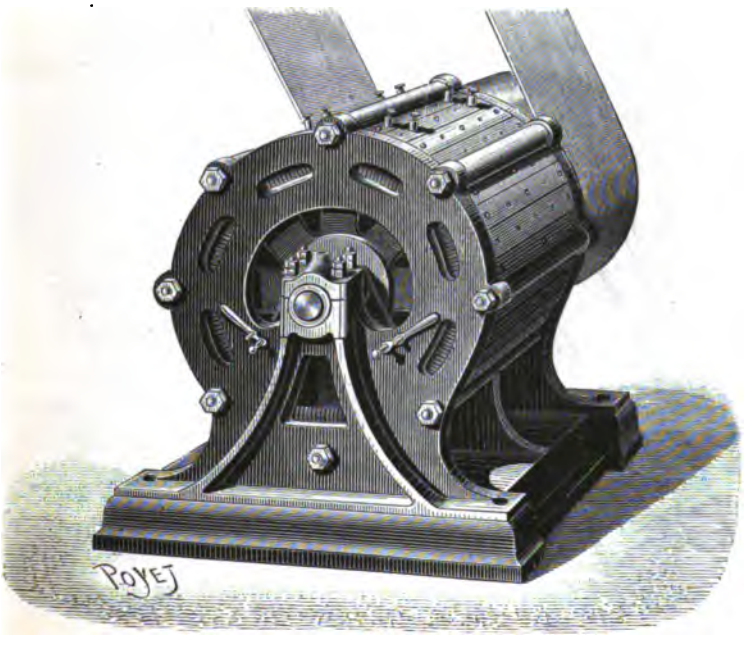


Fig. 144 *bis*. — Machine Gramme (vue extérieure).

L'inducteur étant mis en mouvement, ses pièces polaires passent très près des spires de l'induit et donnent naissance à un courant d'autant plus puissant que le champ magnétique est plus intense et la vitesse de rotation plus grande; et, comme les pôles de l'inducteur sont alternativement de noms contraires, les courants produits dans chaque bobine changent de sens à chaque instant.

En se reportant à la théorie de l'induction, on comprendra aisément que les courants engendrés dans les bobines sont d'une

intensité variable suivant la position des bobines par rapport aux armatures, mais que cette intensité est constante dans toutes les bobines pour une même position.

Ainsi les bobines *aaaa* sont influencées de la même manière, pendant une révolution complète de l'électro-aimant; dans les autres groupes *bbbb*, *cccc* et *dddd*, chaque bobine se comporte

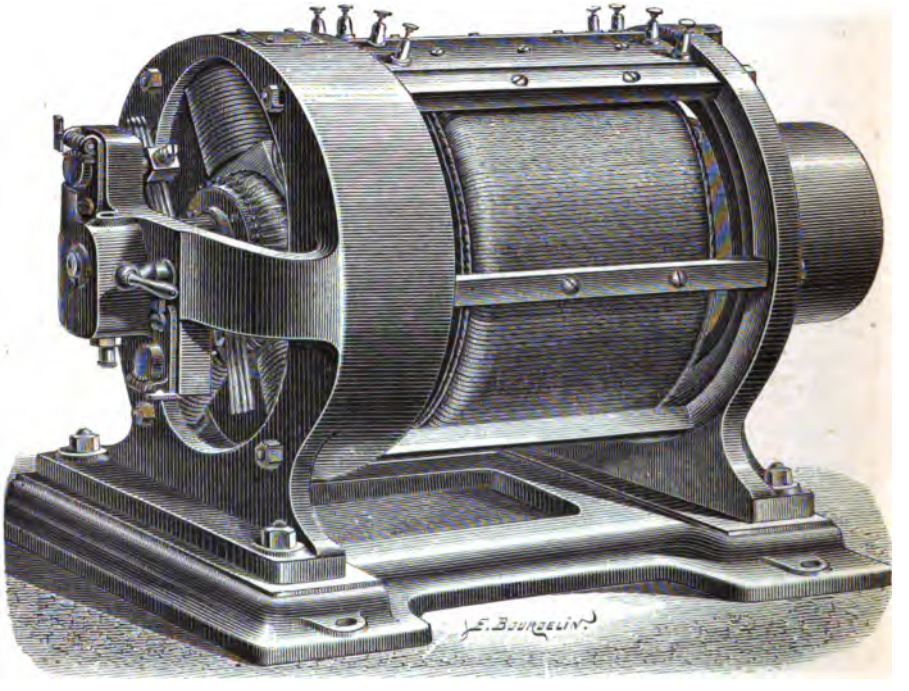


Fig. 145. — Machine Gramme auto-excitatrice.

toujours de la même manière, quelle que soit la position des armatures par rapport à l'ensemble des spires induites. Il résulte de là que, pour coupler la machine en quatre circuits de tension, il suffit de réunir entre elles les 1re, 3e, 5e et 7e bobines *a*, puis, dans le même ordre, les bobines *b*, *c*, *d* pour un des pôles de chaque circuit; et les 2e, 4e, 6e et 8e bobines *a*, puis dans le même ordre les bobines *b*, *c*, *d*, pour l'autre pôle de chaque circuit.

La prise des courants se fait directement sur les bobines

fixes ou, plus simplement, sur les bornes extérieures servant à réunir les diverses spires d'un même groupe de bobines.

Dans le but de faciliter l'installation des appareils à courants alternatifs et d'en réduire le prix de revient, l'inventeur a combiné une machine auto-excitatrice que nous représentons (Fig. 145).

Cette machine possède sur l'une des extrémités de l'arbre

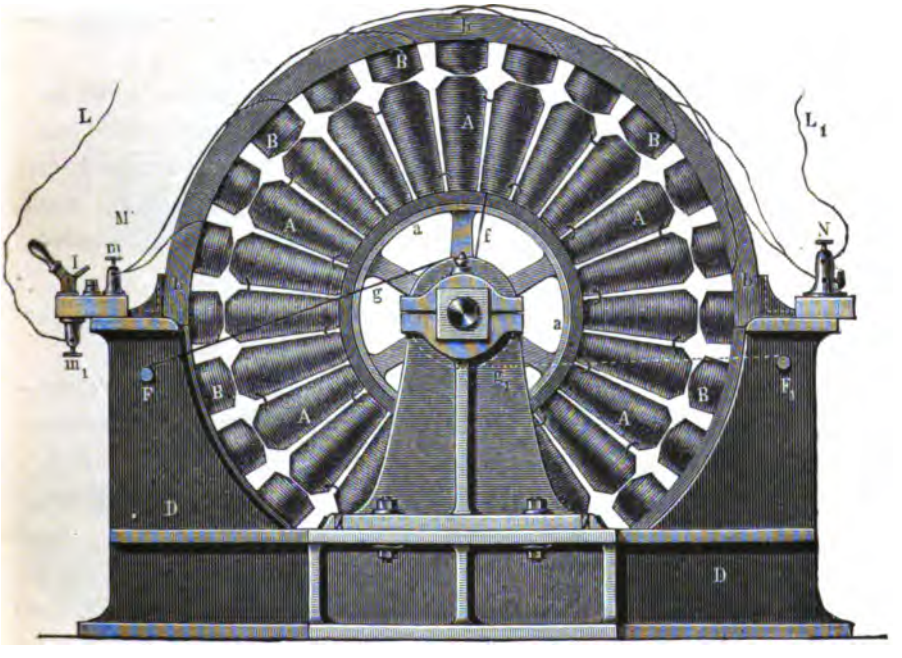


Fig. 146. — Machine Lontin.

central un anneau Gramme ordinaire et son collecteur. Ledit anneau tourne entre les pôles d'un électro-aimant à quatre noyaux, placé à l'intérieur d'un des supports circulaires servant de bâti, et le courant produit est directement envoyé dans les bobines rayonnantes de l'inducteur principal.

La Société anonyme *L'Éclairage électrique*, qui exploite la bougie Jablochkoff, a acquis le privilège exclusif de la construction et de la vente des machines Gramme à courants alternatifs que nous venons de décrire. Cette Société préconise tout spécia-

lement l'emploi des machines auto-excitatrices et fabrique couramment les trois types suivants :

Type 0 pour	2 et 4 foyers.	— Poids 195 kilog.	— Prix 1 800 francs.
— 1 pour	6, 8 ou 10 — . —	— 275 — . —	— 2 500 —
— 2 pour	12, 16 ou 20 — . —	— 635 — . —	— 4 000 —

Machine Lontin. — La machine Lontin à courants alternatifs est représentée (Fig. 146). Elle se compose de vingt-quatre bobines inductrices A A A et d'un même nombre de bobines induites BBB, les premières mobiles, les autres fixes.

Les bobines intérieures sont solidement fixées à un anneau central en fer; l'anneau est boulonné sur une poulie *a a*, laquelle est clavetée sur l'arbre recevant le mouvement du moteur. Deux tiges en laiton $f g g_1$, attachées en F et F_1, sont destinées à amener le courant qui doit exciter les bobines inductrices.

Les bobines extérieures sont fixées sur le cercle *b*. L'ensemble repose sur le bâti D.

Le courant est divisé et dirigé au dehors de la manière suivante : les extrémités des fils des bobines induites sont attachées de chaque côté de la machine, en M et N, et les fils L et L_1 partant de ces points vont jusqu'aux régulateurs de lumière électrique.

Un commutateur M est disposé de manière à envoyer le courant dans douze directions simultanément, au moyen d'une série de plaques et de bornes *m* et m_1. La borne *m*, qui reçoit le fil d'un des électro-aimants B, est reliée au contact, et la borne m_1, qui reçoit le fil aboutissant au régulateur, communique avec un interrupteur à manette I.

Cette machine est excitée à l'aide d'un petit générateur d'électricité à courant continu, du même inventeur.

Machine de Méritens. — La machine combinée par M. de Méritens est représentée (Fig. 147).

Elle se compose essentiellement d'une série d'aimants permanents placés horizontalement, et d'un induit formé d'autant de bobines qu'il y a de pôles d'aimants.

L'induit est monté sur une roue en bronze calée sur l'arbre central. Les aimants sont fixés rigidement sur deux carcasses en bronze.

La théorie de cette machine est due à M. du Moncel. La voici :

« Pour qu'on puisse comprendre la machine de M. de Méri-
« tens; imaginons un anneau Gramme (Fig. 147 *bis*) divisé par

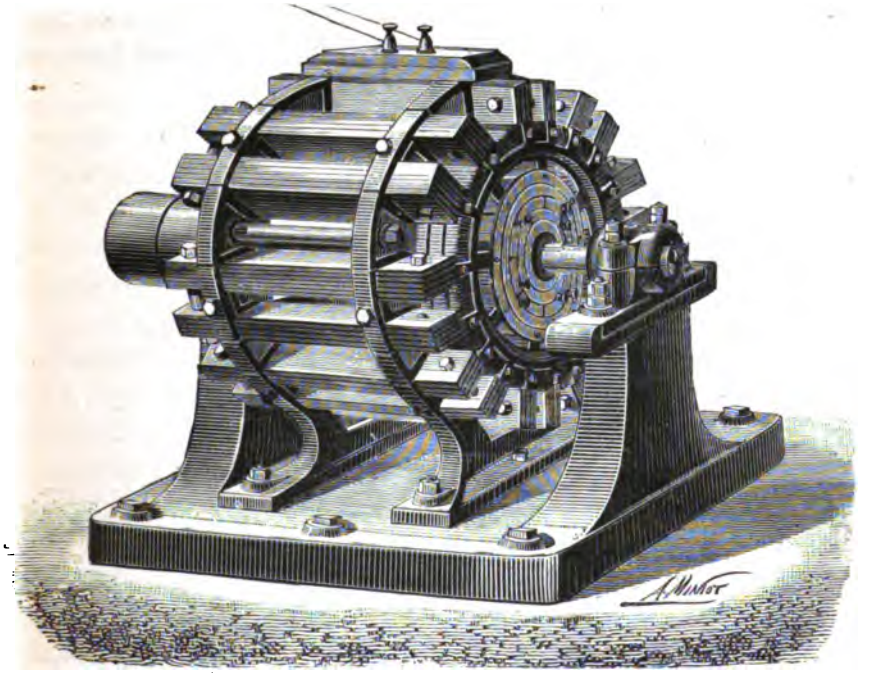


Fig. 147. — Machine de Méritens.

« exemple en quatre sections, isolées magnétiquement l'une de
« l'autre et constituant par conséquent quatre électro-aimants
« arqués, placés bout à bout. Imaginons que le noyau de fer de
« chacune de ces sections soit terminé, à ses deux extrémités,
« par deux pièces de fer A, B, formant comme des épanouisse-
« ments à ses pôles, et supposons que toutes ces pièces réunies,
« par l'intermédiaire de pièces de cuivre C D, constituent un anneau
« solide autour duquel sont disposés des aimants permanents
« N S, N S, avec leurs pôles alternés de l'un à l'autre. Examinons
« ce qui se passera quand l'anneau accomplira un mouvement de

« rotation sur lui-même et voyons d'abord les effets qui résulte-
« ront, par exemple, du rapprochement du pôle épanoui B quand,
« marchant de gauche à droite, il s'approchera de N. A ce
« moment, il se développera dans l'hélice électro-magnétique de
« AB un courant induit d'aimantation, comme dans une machine
« de Clarke.

« Ce courant sera instantané et de sens inverse aux courants
« particulaires d'Ampère de l'aimant inducteur. Il sera très éner-
« gique, en raison de la proximité de B du pôle N; mais l'anneau,

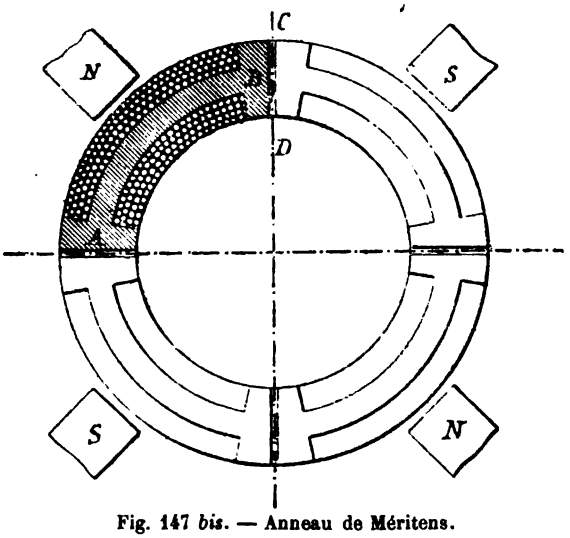


Fig. 147 *bis*. — Anneau de Méritens.

« en s'avançant, va déterminer entre le pôle N et le noyau AB une
« série de déplacements magnétiques qui donneront naissance à
« une série de courants d'interversion polaire qui se manifeste-
« ront de B en A. Ces courants seront directs par rapport aux
« courants particulaires de N ; mais ils ne sont pas instantanés et
« vont en croissant d'énergie de B en A. A ces courants se join-
« dront simultanément les courants d'induction dynamique résul-
« tant du passage des spires de l'hélice devant le pôle N. Quand
« A abandonnera N, un courant de désaimantation se produira,
« égal en énergie et de même sens que le courant d'aimantation
« résultant du rapprochement de l'épanouissement B du pôle N.
« L'effet est, en effet, alors produit à une extrémité différente du

« noyau magnétique, et l'hélice se présente à l'action d'induction « d'une manière inverse. Donc, courants induits inverses de l'in- « ducteur, par le fait du rapprochement et de l'éloignement des « appendices B et A, courants induits directs, pendant le passage « de la longueur du noyau AB devant l'inducteur, courants induits « directs résultant du passage des spires devant N. Toutes les « causes d'induction se trouvent donc ainsi réunies dans cette « combinaison.

« On remarquera que l'action que nous venons d'étudier pour « une seule section de l'anneau peut s'effectuer en même temps pour « toutes les autres, et qu'il s'y ajoute encore les courants résul- « tant de la réaction latérale des pôles A et B sur les pôles voisins.

« Afin d'augmenter encore les effets d'induction, M. de Méri- « tens compose le noyau AB et les appendices A et B avec de « minces lames de fer découpées à l'emporte-pièce et juxtaposées « en faisceau, au nombre de cinquante, ayant un millimètre « d'épaisseur chacune. Les fils des hélices sont d'ailleurs reliés « de manière que les courants induits puissent être associés en « tension, en quantité ou en séries, suivant les conditions de « l'application[1]. »

Ces machines sont employées pour le service de plusieurs phares; elles sont bien construites, fonctionnent très régulièrement, et donnent, en résumé, d'excellents résultats. Leur prix est un peu trop élevé et l'emplacement qu'elles exigent un peu trop considérable pour qu'elles obtiennent beaucoup de succès dans l'industrie ; nous connaissons cependant quelques installations privées qui donnent entière satisfaction aux acquéreurs.

L'inventeur a également combiné des dynamos à courant continu avec des induits du genre Pacinotti ; mais ces dynamos, un peu inférieures à celles de MM. Gramme, Edison et Siemens, ont eu beaucoup moins de succès que les machines à courants alternatifs ci-dessus décrites qui resteront l'œuvre capitale de M. de Méritens.

1. Cette théorie est un peu vague; nous avouons même, en toute sincérité, ne pas l'avoir bien comprise; mais nous avons voulu, en la reproduisant, appeler l'attention sur une bonne machine à courants alternatifs. Nous espérons d'ailleurs que beaucoup de nos lecteurs, plus heureux que nous, saisiront le sens et la portée des explications de M. le comte du Moncel.

Machines Siemens. — Les machines à courants alternatifs manufacturées par les Sociétés Siemens se composent de deux rangées d'électro-aimants inducteurs fixes (Fig. 148), disposés de façon que deux champs magnétiques successifs aient leurs orientations inverses. Les bobines induites tournent entre les électros qui sont excités par une machine indépendante à courant continu.

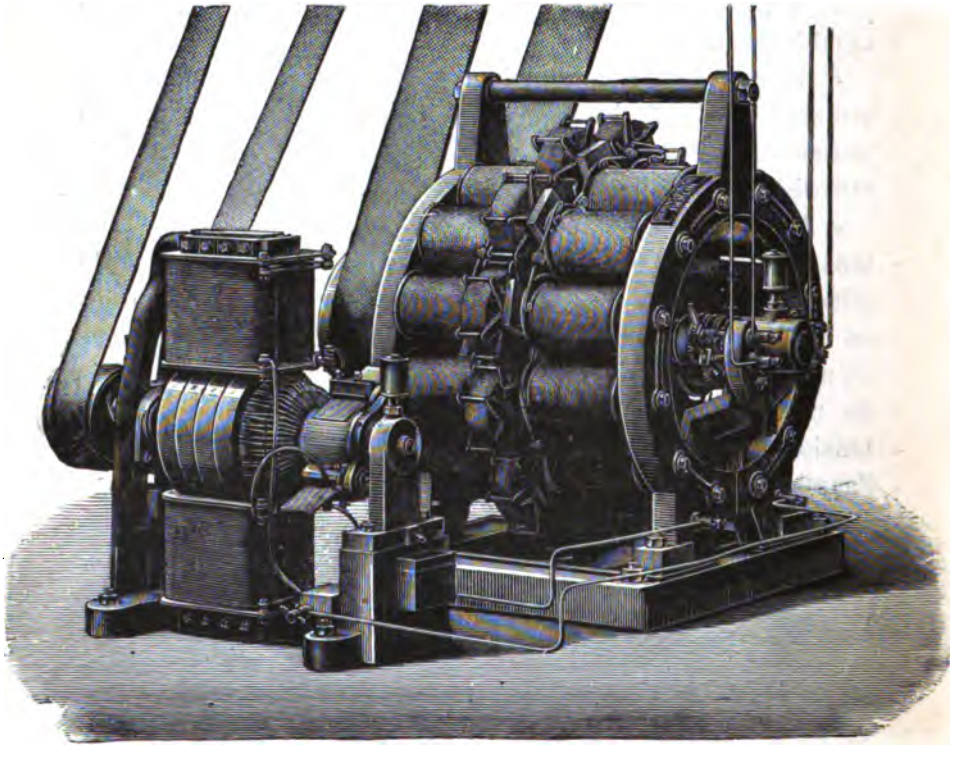


Fig. 148. — Machine Siemens et son excitatrice.

Les électros ont pour noyaux des barres rondes de fer doux sur lesquelles est enroulé le fil inducteur. L'induit est formé de deux flasques métalliques dont l'écartement est maintenu par des entretoises en bois autour desquelles est enroulé le fil induit. Cette disposition rend l'armature assez légère, et l'absence de fer dans les bobines empêche l'échauffement rapide de la machine.

Les deux extrémités du fil induit aboutissent respectivement à deux bagues métalliques qui constituent le collecteur et

sur lesquelles appuient les frotteurs destinés à recueillir les courants.

Les bobines partielles de l'induit peuvent naturellement être groupées de différentes manières, de façon à donner des courants de tension ou de quantité.

L'inducteur est excité par une petite machine à courant continu des mêmes constructeurs.

Les machines Siemens, à courants alternatifs, sont employées non seulement pour alimenter les régulateurs différentiels des mêmes constructeurs, mais encore et surtout dans les installa-

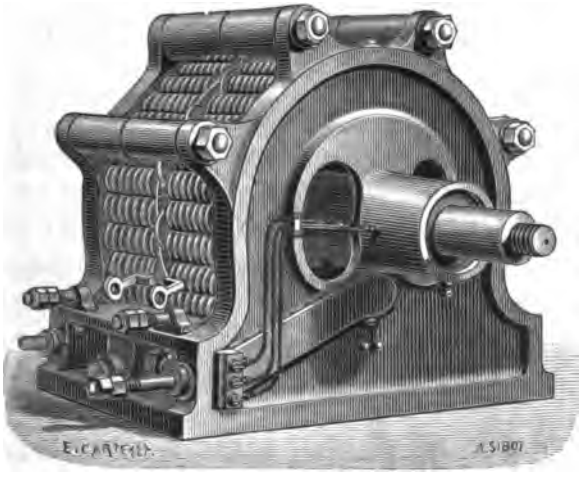


Fig. 149. — Machine Ferranti.

tions d'éclairage par incandescence. Elles sont généralement assez soignées dans leur fabrication; leurs organes mécaniques seuls, comme ceux des dynamos Siemens à courant continu, sont un peu trop grêles, ce qui les rend sujettes aux vibrations des courroies ou des manchons d'entraînement.

Machine Ferranti. — La machine que nous représentons (Fig. 149) est due à la collaboration de Sir William Thomson et de M. Ferranti. Ses inducteurs sont formés, comme ceux des machines Wilde et Siemens, de deux couronnes garnies d'électro-aimants droits à pôles opposés.

Son induit est constitué au moyen de bandes de cuivre con-

tournées en zigzags successifs. Pour une machine ayant 32 paires d'électro-aimants droits dans le système inducteur, l'induit comporte 16 boucles en zigzags; les parties mobiles ont ainsi une largeur angulaire double de celle des parties fixes.

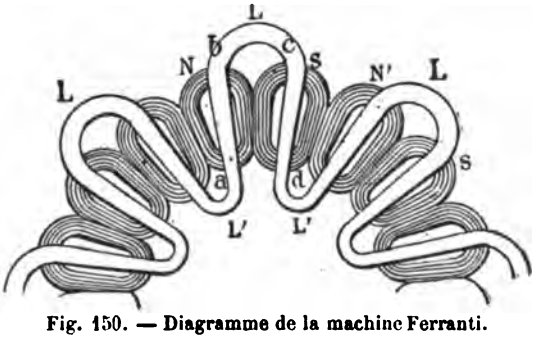


Fig. 150. — Diagramme de la machine Ferranti.

Pour étudier la production des courants induits dans cette machine il suffit de considérer deux parties voisines *a b* et *c d* du ruban de cuivre L, L', L, L', L, (Fig. 150). Lorsque *a b* s'approche du champ magnétique situé en face du pôle N, par exemple, *c d* s'approche d'un champ magnétique inverse développé vis-à-vis du pôle S. Les courants induits dans ces deux éléments sont donc de sens contraires; mais comme les directions de *a b* et de *c d* sont elles-mêmes opposées, les deux courants s'ajoutent. Il en est ainsi pour les 8 ou 16 boucles du ruban, et la rotation du système mobile produit un courant qu'on recueille au collecteur.

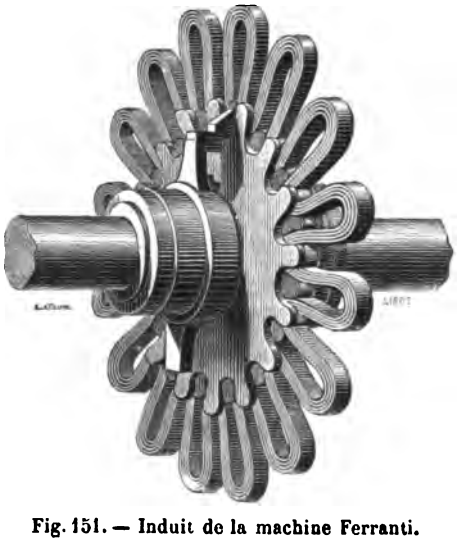


Fig. 151. — Induit de la machine Ferranti.

Ce courant change de sens simultanément dans les éléments *a b*, *c d*, etc., toutes les fois qu'ils passent d'un champ magnétique dans un autre, c'est-à-dire 16 ou 32 fois par tour.

L'avantage de l'armature Ferranti-Thomson (Fig. 151) réside dans la simplicité de sa construction et dans son extrême légèreté. Les lames juxtaposées sont séparées les unes des autres par des bandes de caoutchouc. Les frotteurs sont formés, non de balais, mais de fortes pièces de métal pressées par un ressort contre le collecteur.

Les noyaux des électro-aimants du système inducteur sont fondus avec le bâti de la machine. Ce bâti est composé de deux couronnes symétriques reliées entre elles par 6 boulons. La dynamo qui excite les inducteurs est d'un système quelconque; elle est indépendante de la machine à courants alternatifs.

Dans les récentes machines Ferranti, les noyaux des électros inducteurs ne sont plus enroulés de fils, mais bien de lames de cuivre ondulées comme les rubans de l'induit. Les inducteurs et les induits ont ainsi une résistance électrique extrêmement faible.

Chaque palier de ces machines porte un godet à huile ordinaire et 3 tubes qui sont reliés à une petite pompe opérant le refroidissement des coussinets par une circulation d'huile très abondante.

Les modèles courants comprennent des appareils pouvant alimenter 100, 200, 300, 400, 1 000 et 3 000 lampes à incandescence de 16 bougies.

Machine Gordon. — La machine étudiée par M. Gordon sur le type Dandeu-Chertemps est surtout caractérisée par ses grandes dimensions et sa grande puissance.

Son poids est de 18 tonnes; celui de l'armature mobile, de 7 tonnes. Sa base occupe un espace de 4 mètres sur $2^m,20$. Le diamètre de l'armature est de $2^m,07$. Son courant peut alimenter 6 000 lampes à incandescence Swan de 20 bougies. Les bobines induites sont fixes et les bobines inductrices sont mobiles. Les bobines induites sont disposées sur deux anneaux de chaque côté de l'armature inductrice. Ces bobines sont au nombre de 128 (64 sur chaque anneau); elles sont oblongues et ont un noyau en fer en forme de V.

L'armature mobile est composée de deux disques maintenus par deux cônes fixés à l'arbre de rotation. Dans la partie annu-

laire de cette armature sont implantés 32 électro-aimants droits, excités par une machine Gramme indépendante.

Les bobines induites peuvent être accouplées de toutes les façons possibles suivant le nombre et la disposition des lampes à desservir.

Machine Jablochkoff. — Cette machine a un inducteur dans le genre de celui de la machine Gramme (Fig. 144); seulement, au lieu d'être parallèles à l'axe, les surfaces polaires inductrices sont obliques et les noyaux ou ailettes ont une forme hélicoïdale. L'induit est formé d'une série de bobines plates, placées parallèlement à l'axe et fixées par leurs extrémités sur deux flasques circulaires constituant le bâti de la machine. La machine Jablochkoff figurait à l'Exposition de 1881. Elle n'a pas été mise en fabrication courante, parce que les progrès réalisés par M. Gramme dans ses dynamos auto-excitatrices rendaient inutile la construction d'un autre appareil similaire, les brevets de M. Jablochkoff et ceux des machines Gramme à courants alternatifs appartenant à la même Société.

Machine Zipernowsky-Deri. — MM. Zipernowsky et Deri, de Budapest, ont également étudié une machine à courants alternatifs pour compléter leur système de transformateurs dont nous parlerons plus loin.

Cette machine se compose d'un inducteur tournant, en forme de pignon (tout à fait analogue à celui des machines Gramme à courants alternatifs). Les dents de ce pignon portent le fil inducteur.

L'induit est ainsi établi : un tambour est formé à l'aide de bandes en fer plat enroulées en cercle et vernies, que l'on superpose; deux anneaux de bois de même diamètre que les cercles, maintenus par des entretoises, les enserrent entre eux et constituent la carcasse solide du tambour; à l'intérieur de celui-ci sont disposées des bobines induites, en nombre égal à celui des bras du pignon inducteur; chacune de ces bobines a une âme en fer en forme de zigzag, autour de laquelle se place la galette de fil induit.

Cet ensemble constitue une sorte de bobine très plate, de forme rectangulaire allongée et dont l'axe est normal au tambour qui lui sert d'enveloppe.

Un commutateur est monté sur le prolongement de l'arbre du pignon. Pour les machines à excitation séparée, ce commutateur est remplacé par deux bagues isolées sur lesquelles frottent les balais qui sont reliés à l'excitatrice.

Tout l'ensemble est monté entre deux flasques circulaires, portant les paliers et réunies par des entretoises auxquelles sont fixés le tambour et les bobines.

CHAPITRE XI

RÉGULATEURS A ARC

Classification. — Dans la deuxième édition de cet ouvrage, nous avions divisé les régulateurs en huit classes, en nous basant sur la forme et la disposition des électrodes et en considérant la nature de l'organe servant de moteur pour le rapprochement des crayons. Depuis 1879, plusieurs systèmes ont été abandonnés et un grand nombre d'autres sont venus qui ne pourraient être rangés dans les huit classes prévues à cette époque; nous croyons donc plus simple et plus rationnel de nous en tenir aux désignations de *régulateurs monophotes* et de *régulateurs polyphotes*, généralement adoptées aujourd'hui.

Le régulateur est *monophote* lorsque son système d'éclairage est tel qu'il ne permet de placer qu'un appareil en tension sur un circuit électrique. Il est *polyphote* lorsqu'on peut placer plusieurs appareils en tension sur un même circuit.

Le nombre des régulateurs différents, actuellement employés, est si considérable qu'il nous est impossible, non seulement de les décrire tous, mais même d'en donner une nomenclature complète. Nous ne pouvons indiquer que ceux adoptés par les principaux constructeurs de matériel électrique dans les diverses contrées industrielles et ceux qui nous ont paru les plus ingénieux parmi les appareils peu ou pas employés.

Les régulateurs d'un usage courant sont, en France, ceux de MM. Serrin, Duboscq, Gramme, Cance, Breguet, Brush, Siemens, Pieper et de Mersanne; aux États-Unis, ceux de MM. Brush, Weston et Thomson-Houston; en Angleterre, ceux de MM. Crompton, Gülcher, Roger et Lever; en Belgique, ceux de MM. Gramme,

Jaspar, Pieper, de Puyt et Gülcher; en Allemagne, ceux de MM. Siemens, Pieper, Gramme, Schuckert, Fein et Hauck; en Autriche, ceux de MM. Gramme, Siemens, Zipernowsky, Gülcher et Piette-Krisick; en Russie, ceux de MM. Gramme, Siemens, Tschikoleff et Gravier.

Parmi les régulateurs ingénieux, mais peu employés, nous citerons ceux de MM. Abdank-Abakanowicz, Wallace-Farmer, Solignac.

APPAREILS USITÉS EN FRANCE

Régulateur Serrin. — L'appareil Serrin est le premier qui ait fonctionné avec une parfaite régularité; c'est pourquoi, bien qu'il soit un peu délaissé depuis quelques années, nous lui donnerons la place d'honneur dans la revue que nous allons passer des lampes à arc voltaïque.

Pour faire naître la lumière électrique entre les deux charbons d'un régulateur, il faut d'abord amener les pointes en contact, afin que le courant s'établisse; il faut les écarter ensuite à une petite distance l'un de l'autre pour que l'arc se développe; il faut enfin que ces pointes se rapprochent constamment, à mesure qu'elles s'usent, de telle sorte que le foyer lumineux reste toujours de même intensité.

Le régulateur de M. Serrin satisfait à ces trois conditions. Il laisse les charbons en contact quand le courant ne circule pas; il les écarte à distance voulue quand le courant est établi; il les rapproche ensuite incessamment sans les laisser arriver au contact. Si, par une cause accidentelle, les charbons se brisent ou s'éloignent trop, ils sont automatiquement ramenés, après un contact d'un instant, à la distance qui doit les séparer pour que l'arc voltaïque se développe dans tout son éclat.

L'appareil est représenté (Fig. 152). Il se compose d'un électro-aimant A, d'une tige B servant de moteur, d'une tige C supportant le charbon négatif, d'une armature D, d'un buttoir E, d'une attache F, d'une vis à excentrique G, d'un support de charbon positif H, d'une entretoise fixe I, d'une entretoise à rallonge J, d'un levier de tension KL, d'un double parallélogramme MNPQ,

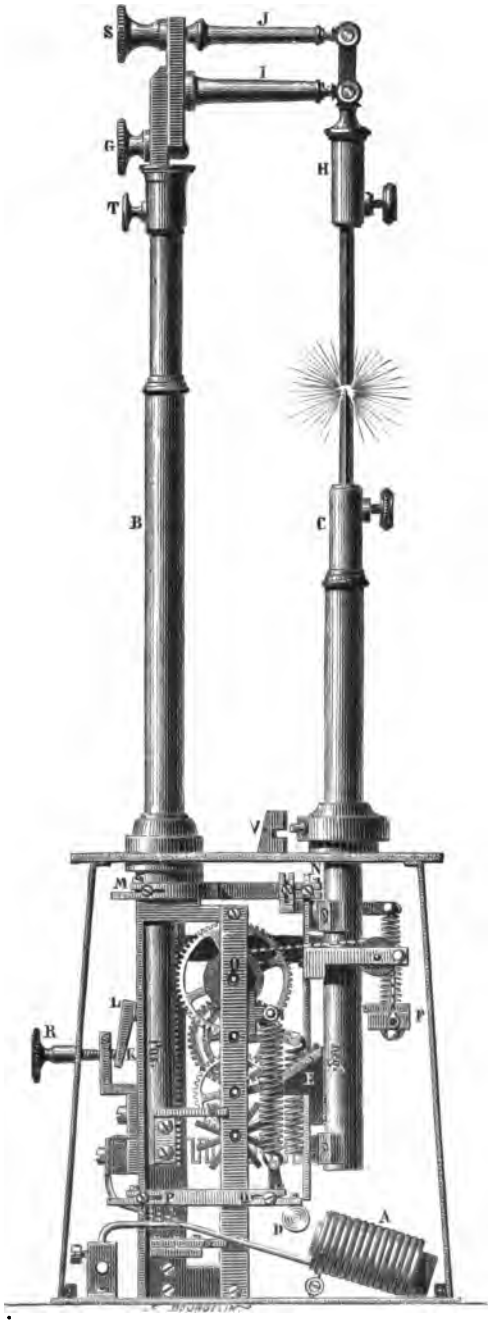


Fig. 152. — Régulateur Serrin.

d'un mouvement d'horlogerie O, d'une vis de réglage inférieur R, d'une vis de réglage supérieur S, d'une vis de jonction T, d'une borne d'ivoire V servant à arrêter le mouvement de la lampe, d'une enveloppe en cuivre et d'une série de détails accessoires.

Les charbons sont fixés au moyen de vis de pression dans deux porte-charbons H et C. Le charbon positif est maintenu au dessus du charbon négatif au moyen d'une tige cylindrique massive munie à la partie supérieure de deux traverses horizontales I et J reliées au porte-charbon. La traverse ou entretoise supérieure J permet, au moyen d'un bouton fileté S, d'imprimer au porte-charbon un déplacement dans un plan parallèle au plan du dessin. La traverse inférieure I, au moyen d'un excentrique commandé par le bouton G, déplace le charbon dans un plan vertical perpendiculaire au plan de la figure. La

combinaison de ces deux mouvements, rectangulaires entre eux, donne le moyen d'amener rigoureusement en présence les deux pointes des charbons. C'est entre elles que jaillit l'arc voltaïque constamment maintenu à la hauteur d'une petite gorge circulaire ménagée sur la tige massive du porte-charbon positif B.

Quant au charbon négatif, placé au-dessous de l'autre, il est introduit dans un tube creux, d'où l'on peut le retirer pour le débarrasser des fragments de charbon qui s'y rompraient accidentellement. Une vis de pression maintient le charbon dans sa gaine.

Voyons maintenant comment va se produire le rapprochement des pointes et ensuite le maintien de l'écart convenable.

1° *Rapprochement.* — La tige massive du porte-charbon positif tend à descendre verticalement sous l'action de la pesanteur. Elle est, sur sa partie inférieure, taillée en crémaillère, et, pendant la descente, engrène avec une roue dentée O qui communique le mouvement au système d'engrenages figuré. Sur l'arbre O de la première roue dentée, est calée une poulie de diamètre moitié moindre que la roue. Cette poulie suit le mouvement et le transmet, au moyen d'une chaîne à la Vaucanson, à une petite poulie de renvoi ; la chaîne vient se fixer à une pièce en saillie F rattachée au tube du porte-charbon négatif. Par suite de la dimension et de la disposition de la première poulie, le porte-charbon négatif se déplace de bas en haut d'une quantité sensiblement moitié de celle dont descend le porte-charbon positif. On compense donc ainsi la différence de l'usure qui, pour le charbon négatif, est à peu près moitié de celle du charbon positif.

La descente du charbon positif est régularisée au moyen du système d'engrenages qui se termine par un pignon, commandant à la fois un régulateur à ailettes et un petit volant étoilé dont nous verrons plus tard le rôle important.

Lorsqu'on veut renouveler les charbons, on soulève de bas en haut la tige massive du porte-charbon positif ; cette opération entraîne la descente du tube du porte-charbon négatif sous l'influence de son propre poids, et elle ne détermine aucun mouvement des engrenages, parce qu'un encliquetage placé sur l'arbre de la seconde roue maintient le système au repos.

2° *Établissement et maintien de l'écart.* — Ce résultat est obtenu au moyen du double parallélogramme articulé MNPQ, de l'armature de fer doux D et de l'électro-aimant A.

Dans le parallélogramme, le côté vertical MP, voisin du porte-charbon positif, est fixe; deux côtés MN, PQ peuvent s'écarter de la direction horizontale; le troisième côté NQ est vertical, et les extrémités inférieures de ces côtés verticaux mobiles sont reliées par une armature en fer doux D.

L'influence de la pesanteur sur le parallélogramme articulé est contrebalancée au moyen de deux ressorts en spirale. L'un s'attache, d'une part, au côté horizontal inférieur et, d'autre part, à une saillie d'une pièce fixe; l'autre, relié en bas au côté vertical mobile du parallélogramme, est fixé, d'autre part, à l'extrémité d'un levier coudé LK, qu'une vis extérieure R permet de lever plus ou moins.

L'armature de fer doux D, placée en regard de l'électro-aimant A, sera attirée par ce dernier lors de la fermeture du circuit, et l'intensité de cette attraction variera avec l'intensité du courant.

Le fil positif de la machine, serré dans une borne, est mis en communication avec la masse de l'appareil, et le courant électrique, passant du charbon supérieur (positif) au charbon inférieur (négatif) par l'arc voltaïque, va du porte-charbon inférieur, en traversant le conducteur isolé S, à l'électro-aimant, et sort de l'appareil par une borne isolée, à laquelle est fixé le fil négatif.

On voit sur le dessin que le tube du porte-charbon négatif est relié au côté vertical mobile du parallélogramme. Celui-ci est soumis à deux efforts qui se contrebalancent: son poids qui tend à le faire osciller autour de l'arête fixe, et les ressorts qui tendent à le relever. L'action de l'électro-aimant consiste à triompher, à un moment donné, de la puissance des ressorts, et, en attirant l'armature de fer doux, à faire descendre le parallélogramme. Lorsque le courant de l'électro-aimant s'affaiblit, les ressorts l'emportent à leur tour et relèvent le parallélogramme.

Il est facile de se rendre compte que, dans le premier cas, le charbon négatif descend et qu'il remonte dans le second. En effet, le côté vertical mobile du parallélogramme porte une

équerre E, dont la pointe peut, en s'abaissant, pénétrer entre les bras du moulinet, et enrayer le mouvement des engrenages et, par suite, de la crémaillère. L'abaissement du parallélogramme engage l'équerre, tandis que le relèvement la dégage ; et, par suite, la crémaillère est arrêtée dans le premier cas, tandis qu'elle est libre de descendre dans le second en provoquant l'ascension du charbon négatif.

Le bouton R agit, par le levier L K, sur un ressort qui sert à régler l'appareil de la manière suivante. Lorsque la lumière jaillit entre les deux pointes de charbon, il existe un écart (un seul suivant l'intensité du courant) pour lequel le pouvoir éclairant est maximum. A cet écart correspond une position du parallélogramme oscillant, reliée aux actions des ressorts et de l'électro-aimant. En faisant varier, au moyen du levier, la tension du ressort et la distance de l'armature à l'électro-aimant, on peut arriver promptement à fixer la position convenable du parallélogramme et à maintenir la distance des pointes dans les conditions les plus favorables.

Il nous reste maintenant à voir comment on opère dans la pratique.

Nous supposons que les charbons aient été placés sans que le courant passe encore dans l'appareil. Le mouvement de descente de la tige massive détermine le mouvement ascensionnel du charbon négatif jusqu'à ce qu'il y ait contact. A partir de ce moment les deux tiges descendent ensemble ; mais, comme la tige du porte-charbon négatif est reliée au côté vertical mobile du parallélogramme, elle fait abaisser ce parallélogramme ; l'équerre embraye le petit moulinet, et tout le mécanisme est immobilisé.

Dès que le courant est envoyé dans l'appareil, l'électro-aimant, devenu actif, attire l'armature, entraîne le parallélogramme oscillant et, par suite, le charbon inférieur dont la pointe s'écarte à une petite distance de celle du charbon supérieur: l'arc voltaïque apparaît et relie les deux pointes. A mesure que le courant devient moins intense, par suite de l'usure et de l'écartement des pointes, l'électro-aimant devient moins puissant, l'action des ressorts l'emporte, l'armature s'éloigne de l'électro-aimant, le

parallélogramme oscillant remonte. Par suite de ce mouvement incessant du parallélogramme, qui tantôt descend entraîné par l'armature, tantôt remonte sous l'action des ressorts, le moulinet se trouve alternativement engagé et dégagé ; la crémaillère, par suite, passe par des alternatives de descente et d'arrêt, et le mécanisme de rapprochement fonctionne en maintenant constamment les charbons à l'écartement voulu.

Le moteur du régulateur Serrin est assez puissant pour lui assurer une marche certaine, en détruisant les petites résistances anormales qui se présentent, sans que, malgré cette puissance, il puisse écraser les pointes des charbons l'une contre l'autre ou leur permettre de glisser parallèlement. Dès que la tige inférieure descend un peu, elle embraye immédiatement le moulinet et soustrait ainsi les charbons en contact à l'action du poids de la tige supérieure. Il suffit de tendre convenablement le ressort équilibrant le porte-charbon inférieur pour donner au mouvement toute la douceur qu'on désire obtenir.

L'appareil de M. Serrin a quelques imperfections, et, bien qu'elles soient légères, il est utile de les signaler.

Tous les mouvements produits par l'électro-aimant sur son armature sont directement transmis au porte-charbon inférieur, lequel oscille sans cesse lorsque les charbons contiennent des impuretés. Ces oscillations augmentent ou diminuent alternativement la longuenr de l'arc voltaïque et, par suite, sa résistance. Le courant change alors d'intensité à chaque instant et réagit sur la machine motrice et sur l'électro-aimant, lesquels multiplient les oscillations premières et donnent souvent à la lumière une instabilité très désagréable.

Ajoutons que l'appareil ne peut pas fonctionner horizontalement ni prendre une trop forte inclinaison ; que ses organes sont un peu délicats pour l'usage des ateliers de construction ; et nous aurons énuméré tous ses petits inconvénients.

Malgré cela, avec des charbons chimiquement purs et une source d'électricité bien constante, on peut rendre presque nulles les amplitudes de l'armature de l'électro-aimant et obtenir une lumière suffisamment fixe.

Régulateur Lontin. — Le régulateur de M. Lontin est un appareil à parallélogramme oscillant, système Serrin, qui fonctionne au moyen d'une simple dérivation du courant, laquelle dérivation ne passe pas par l'arc voltaïque (Fig. 152 *bis*).

Il semble, de prime abord, que ce changement a peu d'importance; mais, en l'analysant attentivement, on se rend bientôt compte de son avantage considérable.

La palette B n'est attirée près de l'électro-aimant A que lorsque le courant qui passe par l'arc devient faible, car alors celui de la dérivation augmente d'intensité. La lampe est toujours embrayée et elle ne se désembraye que quand l'arc atteint une trop grande longueur, tandis que, dans l'appareil Serrin ordinaire, la lampe est toujours désembrayée et elle ne s'embraye que lorsque le courant, qui passe par l'arc, est assez intense pour attirer la palette à lui. La sensibilité est beaucoup plus grande dans le premier cas que dans le second, et le régulateur qui était monophote devient, par ce seul changement, polyphote.

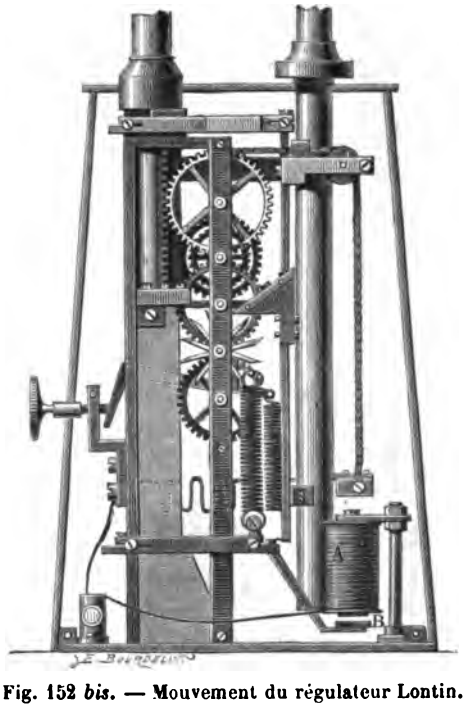


Fig. 152 *bis*. — Mouvement du régulateur Lontin.

L'emploi d'une dérivation du courant principal, pour régler la longueur de l'arc, est déjà ancien ; il est dû à M. Lacassagne dont nous décrivons plus loin l'appareil.

Régulateur Foucault-Duboscq. — Le régulateur imaginé par Léon Foucault et perfectionné par M. Duboscq a été principalement employé pour les projections lumineuses dans les théâtres; nous le représentons (Fig. 153).

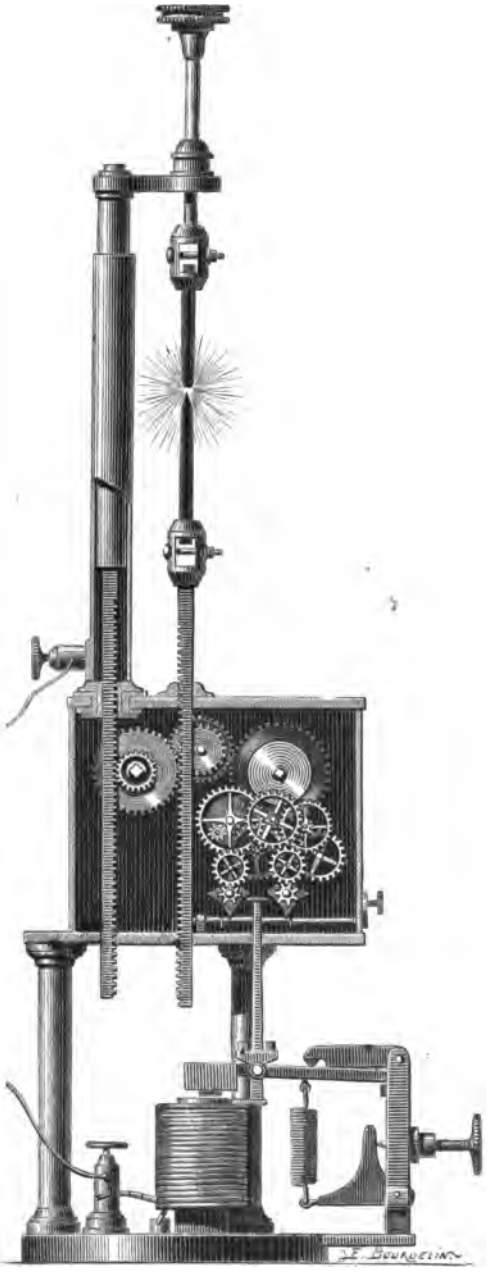


Fig. 153. — Régulateur Foucault et Duboscq.

Dans cet appareil, l'organe principal est placé à la partie inférieure du socle. Cet organe se compose d'une bobine sur laquelle est enroulé un long fil de cuivre que le courant total traverse et dont l'âme s'aimante plus ou moins suivant l'intensité du courant. Un ressort à boudin, placé parallèlement à la bobine, équilibre sa puissance magnétique lorsque l'arc a sa longueur normale.

Au-dessus de l'électro-aimant, se trouve un compartiment cubique renfermant un mouvement d'horlogerie actionnant, lorsqu'il se meut, les tiges des deux porte-charbons, lesquelles sont taillées en crémaillères et engrènent avec des roues de diamètres différents, comme dans la lampe précédente.

Une tige oscillante réunit l'armature à ce mécanisme d'horlogerie et vient embrayer les ailettes d'un moulinet, lequel arrête le mouve-

ment de toutes les pièces lorsque l'arc voltaïque n'est ni trop grand ni trop petit, c'est-à-dire lorsque le courant passe régulièrement dans l'appareil. Dès que l'arc a pris une trop grande longueur par suite de l'usure des crayons, sa résistance augmente, l'armature est attirée contre l'électro-aimant, et la tige du désembrayage oscille et laisse fonctionner le moulinet.

Dans l'appareil primitif, il fallait écarter à la main les charbons pour régler leur position et leur distance ; Foucault a ajouté un deuxième mécanisme d'horlogerie qui sert de moteur pour éloigner les charbons l'un de l'autre lorsque cela est nécessaire.

Ce mécanisme auxiliaire agit, comme le premier, sur les roues qui engrènent avec les tiges dentées des porte-charbons ; seulement son mouvement est inverse.

Il y a donc dans ce régulateur deux moteurs distincts : l'un éloignant les crayons lorsqu'ils sont trop rapprochés, l'autre les rapprochant quand ils sont trop éloignés.

La difficulté, qui était de réaliser l'indépendance de ces deux moteurs et de les faire agir inversement sur les mêmes roues dentées, a été résolue de la manière la plus heureuse par l'emploi d'une roue à satellites. La tige qui réunit l'électro-aimant aux deux mécanismes oscille à droite ou à gauche et désembraye chacun des moulinets en temps utile ; lorsqu'elle est verticale, les deux moulinets sont calés et aucun mouvement ne se produit.

Les ressorts doivent, bien entendu, être remontés avant chaque opération.

On peut, avec la lampe Foucault-Duboscq, exhausser ou abaisser le foyer pendant la marche, en faisant tourner à la main une des roues dentées du barillet principal. Cette opération est quelquefois nécessaire lorsqu'on fait des projections lumineuses ; dans l'éclairage industriel, elle est sans utilité pratique.

En somme cet appareil est très bien combiné et possède l'avantage de pouvoir fonctionner dans toutes les positions ; mais il est assez délicat, a besoin d'être réglé pour chaque application spéciale, et est un peu susceptible de dérangements. Son usage est peu répandu, en dehors des laboratoires et des théâtres.

Anciens régulateurs Gramme. — En 1861, M. Gramme a fait breveter un régulateur à arc (Fig. 154) caractérisé par la simplicité et la rusticité de ses organes, ainsi que par la combinaison de deux leviers articulés, agissant tantôt séparément, tantôt simultanément. Dans cet appareil, comme dans le régulateur Serrin, c'est le support du charbon supérieur qui sert de moteur. Il porte, à cet effet, une petite poulie, laquelle repose sur une corde dont les deux extrémités sont enroulées sur un tambour servant à régler la hauteur du point lumineux. Cette corde supporte également une poulie fixée au charbon inférieur de manière à élever ce charbon quand l'autre descend. Les deux poulies ont des diamètres tels que le point lumineux reste fixe pendant toute la durée des charbons. Une vis A, placée à l'extérieur du régulateur, permet de modifier la hauteur du foyer quand on projette la lumière à l'aide d'une lentille ou d'un miroir.

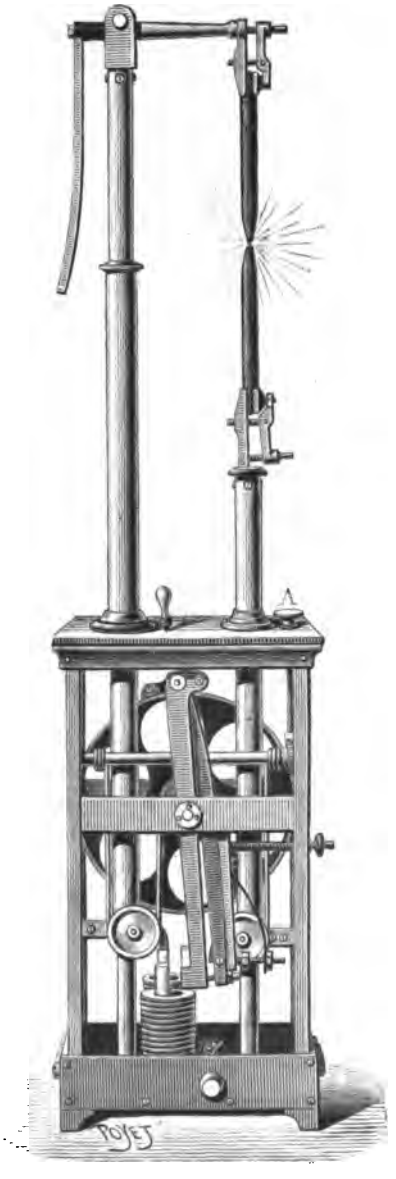


Fig. 154. — Régulateur Gramme (brevet de 1861).

Le détail du mécanisme est représenté schématiquement par la figure 154 *bis*.

Ce mécanisme se compose d'un électro-aimant N placé dans le circuit principal avec une armature C oscillant en O et articulée en E avec un levier D portant le sabot S. Un autre levier K

oscille en F et peut être plus ou moins écarté de la verticale à l'aide de la vis M et de l'écrou V. Ce levier K est muni d'un ressort R butté sur la pièce rigide T et réglé par un écrou. Une grande roue B est calée sur le petit tambour, sur lequel s'enroule la corde de suspension des deux porte-charbons. Quand la tige supportant le crayon supérieur est libre, elle descend et entraîne dans son mouvement le tambour et, par suite, la roue B et le porte-charbon inférieur, ce qui amène rapidement les deux crayons au contact.

Si, à ce moment, on met le régulateur dans le circuit électrique, l'électro-aimant attire son armature, les leviers C et D oscillent autour des points O et F, très rapprochés l'un de l'autre; le sabot S presse sur la roue B et lui fait décrire un petit arc qui sépare les pointes et produit la lumière.

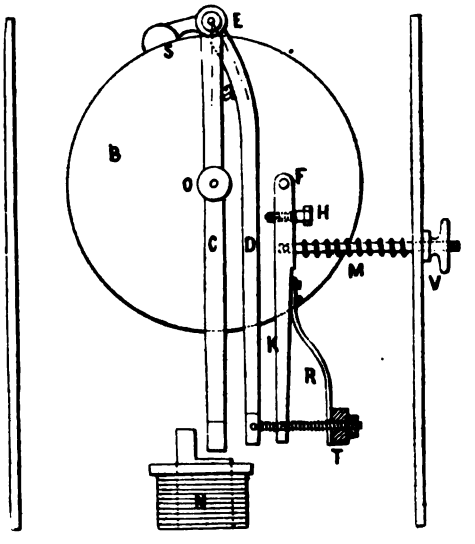


Fig. 154 *bis*. — Mécanisme du régulateur Gramme (brevet de 1861).

Quand l'écart des pointes devient trop grand, le courant s'affaiblit, l'armature sollicitée par le ressort R s'éloigne, et la roue B tourne en sens inverse et rapproche les crayons; mais bientôt ce rapprochement est insuffisant et le ressort R continue à éloigner le levier C de l'électro-aimant N, jusqu'au moment où la tête de la vis H vient butter sur le levier D et diminue l'amplitude de l'angle *a* formé par les deux leviers C et D. Le sabot S se soulève alors, et la roue B devenant libre tourne sous l'impulsion du poids du porte-charbon supérieur. C'est là une excellente combinaison, donnant à l'appareil une marche très sûre et très régulière.

Le joint élastique qui produit ou détruit la solidarité des tiges C et D a été, comme nous le verrons plus loin, mis à profit dans une lampe due à MM. Thomson et Rice, laquelle lampe

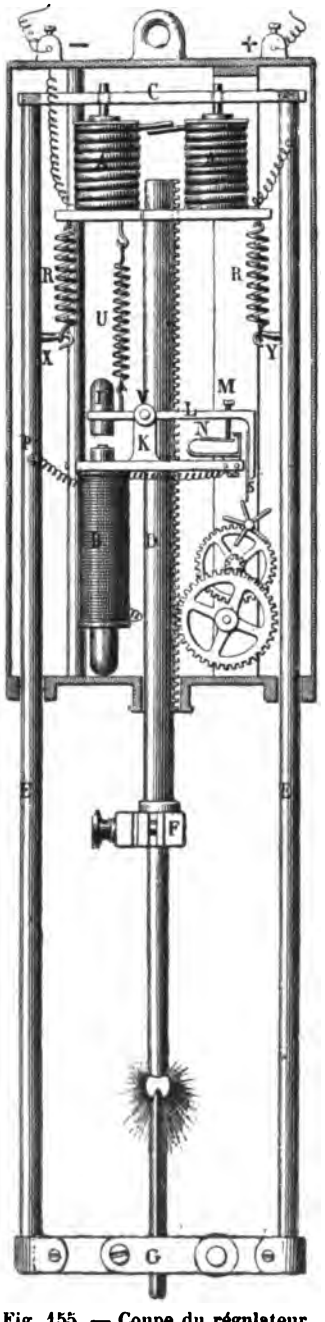


Fig. 155. — Coupe du régulateur Gramme.

est très répandue dans les installations d'éclairages publics aux États-Unis.

La figure 155 est une coupe irrégulière du régulateur polyphote de M. Gramme. Dans cette coupe les principaux organes de recul et de rapprochement des crayons ont été représentés sur un même plan, de manière à rendre compréhensible la description qui va suivre.

La figure 156 représente en perspective le même appareil, avec les proportions réelles de ses organes constitutifs.

Dans ce régulateur, le mouvement de recul est obtenu au moyen d'un électro-aimant A A, qui est fixé sur le bâti et reçoit tout le courant électrique quand le circuit est fermé sur la lampe. Cet électro-aimant a pour armature un cadre E G E C, comprenant une traverse supérieure C, deux tiges verticales E E et une traverse inférieure G servant de porte-charbon négatif. Deux ressorts antagonistes R R attachés en X et Y tendent à maintenir la traverse C et, par suite, l'ensemble du cadre dans leur position la plus éloignée possible des pôles de l'électro-aimant A A.

Le courant arrive par la borne marquée du signe + et sort par la borne marquée du signe —, après avoir traversé l'électro-aimant A A. Lorsque le circuit est ouvert, les deux pointes des crayons sont en contact ;

la tige principale D est calée, comme nous l'expliquerons plus loin, et les crayons sont pressés l'un contre l'autre par l'effet des ressorts antagonistes R R, dont on peut régler la tension à volonté. La fermeture du circuit donne à l'électro-aimant A A une puissance d'attraction supérieure à l'influence des ressorts ; la traverse C est attirée ; le cadre E G E C s'abaisse ; l'écart des charbons se produit, et la lumière jaillit entre leurs pointes.

Pour rapprocher les crayons au fur et à mesure de leur usure, M. Gramme se sert d'un second électro-aimant B (dont on ne voit qu'une des branches), qui est enroulé avec un fil très fin et très long destiné à ne recevoir qu'une faible dérivation du courant total. L'armature I de cet électro-aimant est fixée à l'une des extrémités d'un levier L, lequel oscille en V et qui est muni à l'autre extrémité d'une petite lame S servant à embrayer le volant à ailettes d'un mouvement d'horlogerie. La tige D a une de ses faces taillée en crémaillère, et elle engrène avec la roue principale du mouvement d'horlogerie ; de sorte que la lame S, en empêchant le volant de tourner, empêche la tige D de descendre et tous les rouages du mouvement de défiler.

Un ressort antagoniste U maintient le levier L dans une position horizontale.

Quand l'arc dépasse une longueur déterminée, l'intensité du courant principal diminue et celle du courant dérivé augmente ; l'armature I se trouve attirée par l'électro-aimant B, et la lame S, en se levant, permet au volant de tourner et à la crémaillère de

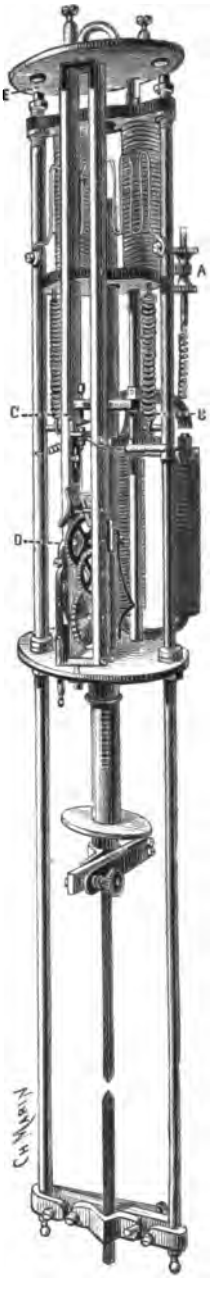


Fig. 156. — Vue du régulateur Gramme.

descendre, ce qui a pour effet de diminuer la longueur de l'arc.

Jusque-là, rien d'essentiellement nouveau ; les organes sont bien groupés, bien calculés pour fonctionner en parfaite harmonie ; le poids de la tige principale est suffisant pour vaincre toutes les résistances anormales auxquelles un usage prolongé dans une usine donne fatalement naissance ; le réglage du recul et du rapprochement s'effectue très facilement de l'extérieur ; mais le point délicat, commun à tous les régulateurs ayant des ressorts antagonistes, n'a pas encore été touché, et il ne peut d'ailleurs être compris qu'après une courte explication préalable.

Dans tous les régulateurs ordinaires à moteur puissant, le mouvement de rapprochement des charbons est obtenu à l'aide d'un électro-aimant et d'un ressort antagoniste. Quand l'influence de l'électro-aimant devient prépondérante, c'est-à-dire quand l'armature est attirée près des pôles, la distance entre ladite armature et les pôles étant diminuée, l'équilibre entre la force du ressort et l'action magnétique se trouve rompu pendant un certain temps, puisque la première reste à peu près constante, tandis que la seconde augmente beaucoup par la réduction de la distance. Les charbons se rapprochent dès lors un peu plus qu'ils ne devraient le faire, et l'arc grandit successivement, en dehors des limites normales, avant d'amener un nouveau déclenchement des rouages. Les variations de l'arc amènent naturellement des variations d'intensité, et le régime lumineux prend l'allure particulière qu'on connaît. Cela est surtout visible dans les appareils exigeant un grand débit et ayant, par suite, une grande intensité lumineuse.

Dans le régulateur Gramme, cet inconvénient a été supprimé au moyen d'un petit mécanisme dont la fonction est d'interrompre le passage du courant dans l'électro-aimant en dérivation, dès que l'armature se meut sous l'influence dudit électro-aimant.

En se reportant à la figure 155, on comprendra facilement le fonctionnement de l'interrupteur du courant dérivé.

Le levier L oscille autour du point V et porte une vis M qui vient appuyer sur un petit ressort N lorsque l'action du ressort U

est prépondérante. Si l'armature est attirée, la vis M s'élève et le ressort N vient toucher une buttée placée à droite. La dérivation du courant entre dans les fils de l'électro-aimant B par la vis M en connexion avec la borne positive et sort par l'attache P en connexion avec la borne négative de la lampe. De sorte que, lorsque le ressort N touche la buttée, il s'établit un court circuit dans le circuit en dérivation, et l'électro-aimant B devient inerte. Mais à ce moment le ressort U attire l'armature, et la vis M rompt le contact de N avec la buttée, ce qui oblige le courant de dérivation à traverser l'électro-aimant B.

Résumons-nous :

Quand l'arc devient trop grand, le courant de dérivation augmente, l'armature est attirée, le mouvement d'horlogerie est désembrayé et le porte-charbon positif descend, réduisant l'écart des crayons. Instantanément le courant cesse de traverser l'électro-aimant de réglage, l'armature revient à sa place primitive et rétablit le courant dans ledit électro-aimant. Si l'écart est normal, le mouvement s'arrête ; s'il est encore trop grand, les mêmes faits se reproduisent.

L'équilibre entre l'action magnétique et le ressort antagoniste n'est jamais rompu pendant plus d'une seconde, de sorte que le foyer lumineux est d'une régularité parfaite.

En pratique, il n'y a pour ainsi dire aucun arrêt; l'appareil est tellement sensible que les pointes se rapprochent d'un mouvement continu d'une excessive lenteur.

M. Gramme construit trois modèles de régulateurs à électro-aimants intermittents, qu'il désigne sous les numéros 1, 2 et 3.

Le régulateur n° 1 est employé pour l'éclairage des grands espaces ; sa puissance varie entre 300 et 500 becs-carcels ; il exige de 15 à 30 ampères. Son prix est de 225 francs.

Le régulateur n° 2 est spécialement destiné aux usines et aux manufactures ; sa puissance varie entre 100 et 200 becs-carcels, sous un courant de 6 à 10 ampères. Son prix est de 175 francs.

Le régulateur n° 3 sert surtout aux éclairages mixtes, où l'incandescence et l'arc sont en usage simultanément; sa puissance

Fig. 156 *bis*. — Vue extérieure du régulateur Gramme.

varie entre 25 et 80 becs-carcels, correspondant à un courant de 3 à 5 ampères. Son prix est de 125 francs.

Pour éviter le bruit causé par l'encliquetage, M. Gramme a remplacé depuis peu, dans les appareils destinés aux intérieurs, la lame d'embrayage et le volant à ailettes par un petit frein agissant sur une roue lisse.

Les régulateurs que nous venons de décrire n'ont pas le foyer fixe dans l'espace, puisque leur crayon inférieur ne participe pas au mouvement de rapprochement des pointes. Cela est sans inconvénient en pratique courante, surtout lorsqu'il s'agit d'appareils n° 1 (Fig. 156 *bis*), où le globe est d'un grand diamètre. Mais, pour l'éclairage des magasins, l'effet étant moins bon, l'inventeur vient de combiner un nouveau modèle qui donne entière satisfaction aux partisans de foyers absolument fixes, présentant l'aspect d'une surface sphérique lumineuse dont tous les points sont également brillants.

A Barcelone, les concessionnaires des brevets espagnols de M. Gramme ont fait de très nombreuses applica-

tions des régulateurs à électro-aimant intermittent, et ils ont muni ces régulateurs d'un commutateur automatique dont nous représentons le schéma (Fig. 157).

Quand le courant ne passe pas, le crayon positif S tombe par son propre poids et repose sur le crayon négatif L″. Lorsqu'on ferme le circuit, l'électro-aimant de recul E attire l'armature A; la tige V descend et l'arc se produit. En cas d'interruption du courant, par suite d'une rupture de crayon, l'armature A, sollicitée par le ressort *r*″, revient à sa place initiale et soulève un levier C qui vient toucher la borne N en K. Le circuit suit la direction P*m*″CN et se trouve alors fermé, non sur le régulateur, mais sur une résistance R à peu près équivalente à celle de l'arc. Le mouvement du levier C est si rapide que la lumière des autres régulateurs placés dans le même circuit ne subit aucune variation appréciable. Pour remettre la lampe réparée dans le circuit, on garnit les porte-charbons et on fait toucher les pointes; il passe alors un petit courant dans l'électro-aimant E, et l'armature attirée légèrement a pour premier effet de supprimer le contact K. Cette suppression force tout le courant à traverser l'électro-aimant, et le recul s'opère comme précédemment. Ce double mouvement s'effectue également avec une rapidité telle qu'il n'influence en rien la lumière des autres foyers qui sont ainsi absolument indépendants les uns des autres.

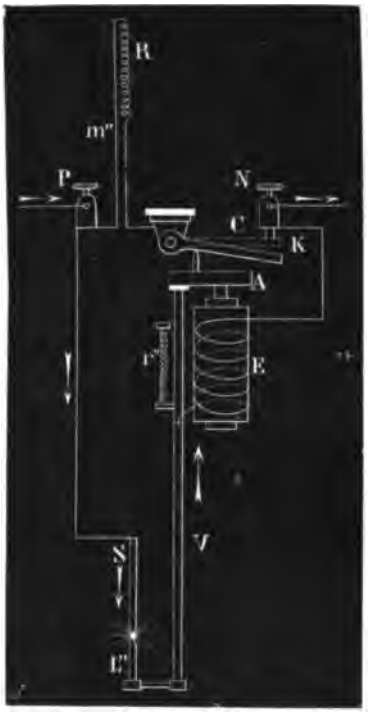


Fig. 157. — Régulateur Gramme. Commutateur automatique.

Ce petit dispositif donne d'excellents résultats; il est dû à M. Xifra, ex-ingénieur de la « Sociedad Española de Electricidad ». Nous le publions de préférence à ceux que M. Gramme

a adoptés dans le même but, bien que ces derniers soient plus simples et tout aussi efficaces. Nous avons si rarement l'occasion de signaler un perfectionnement aux appareils Gramme, réalisé sans le concours de l'inventeur, que nous saisissons avec plaisir celle qui se présente.

Régulateur Breguet à électro-aimant. — Cet appareil est représenté (Fig. 158). Il se compose d'une tige positive taillée en crémaillère et servant de moteur; d'une série de rouages destinés à ralentir la descente de la tige; d'un embrayeur commandé par un électro-aimant en dérivation et réglé par un ressort antagoniste; et d'un mouvement de recul placé sous le porte-charbon négatif.

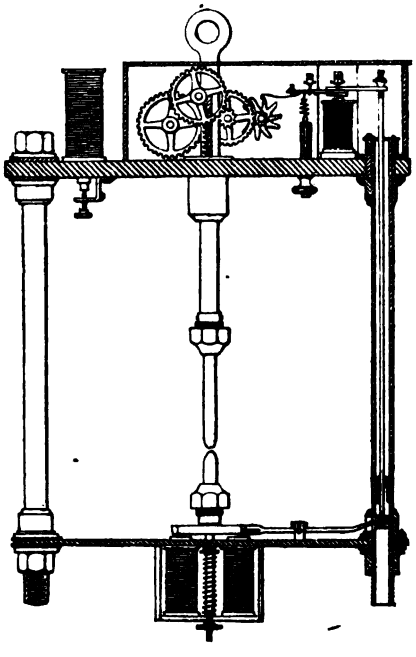


Fig. 158. — Régulateur Breguet.

Pour assurer le contact des charbons au moment de l'allumage, l'appareil porte un petit mécanisme spécial composé d'une tige munie d'un crochet, lequel retient tout d'abord l'armature de l'électro-aimant, ce qui permet aux rouages de défiler et à la tige supérieure de descendre tant que les pointes ne se touchent pas. Quand le circuit se ferme et que l'arc se forme, l'armature de l'électro-aimant de recul abaisse un levier oscillant; celui-ci soulève la tige du mécanisme, laquelle dégage la palette d'embrayage.

La maison Breguet construit également des régulateurs ayant pour moteur une petite dynamo. Nous en reparlerons plus loin.

Régulateur Cance. — L'organe principal du régulateur de M. Cance est une vis centrale V (Fig. 159) sur laquelle se meut

un écrou A faisant corps avec le porte-charbon positif B. L'écrou A tend à descendre par son propre poids, et, comme les deux tringles latérales CC l'empêchent de tourner, il communique, en descendant, un mouvement de rotation à la vis V, laquelle vis est maintenue entre les deux plateaux de l'appareil.

A la partie supérieure de la lampe, se trouvent un second écrou D reposant sur une embase E fixée à la vis, et un plateau F soutenu par les noyaux en fer GG des solénoïdes HH.

Ces solénoïdes ont leurs fils en communication avec le circuit principal; ils reçoivent tout le courant alimentant l'arc.

Les ressorts antagonistes RR sont fixés, au moyen d'étriers, à la partie inférieure des noyaux en fer et, au moyen d'une vis de réglage, au plateau inférieur de la lampe.

Le fonctionnement de l'appareil est des plus simples : dès que le courant traverse les solénoïdes, les tiges de leurs noyaux en fer sont vivement poussées contre le plateau F et elles le soulèvent; celui-ci presse sur l'écrou supérieur et l'entraîne dans son mouvement ascensionnel, ce qui fait tourner la vis de droite à gauche. La rotation de la vis détermine à son tour l'élévation de l'écrou A et du porte-charbon supérieur, ce qui donne naissance à l'arc.

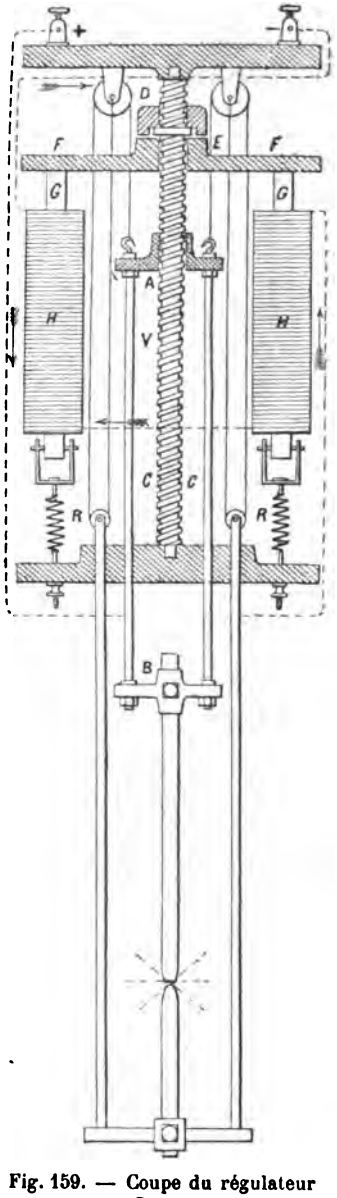


Fig. 159. — Coupe du régulateur Cance.

Lorsque l'arc devient trop grand, l'intensité du courant diminue, et les tiges GG sollicitées par les

ressorts R R pressent moins fortement contre le plateau F, ce qui permet à la vis de tourner de gauche à droite, et à l'écrou de descendre avec les pièces qui en dépendent. Les crayons se rapprochent et l'intensité lumineuse reprend sa valeur normale.

Fig. 160.-Régulateur Cance.

Le réglage s'obtient, en réalité, par une très faible différence dans l'adhérence de la surface du plateau F avec celle de l'écrou D, et le charbon positif descend d'un mouvement extrêmement lent, sans presque s'arrêter; de là, la fixité exceptionnelle des lampes Cance.

Les deux charbons se déplacent pour rendre le foyer fixe dans l'espace. Ce résultat est obtenu au moyen d'un double palan mis en jeu par la chute de l'écrou principal A.

La figure 160 représente l'ensemble de la lampe fonctionnant, sans son globe.

La figure 161 donne le détail de l'écrou supérieur. La figure 161 *bis* montre la disposition complète d'un solénoïde et de son armature.

L'écrou (Fig. 161) est formé de deux pièces juxtaposées D et D', réunies entre elles par trois petites vis. Il n'existe aucun filetage dans l'intérieur de cet écrou, mais simplement trois goujons légèrement coniques K, qui pénètrent jusqu'au fond des filets de la vis et empêchent celle-ci de tourner quand ils restent à un niveau invariable. La bague E est fixée sur la vis centrale; elle empêche l'écrou de descendre plus bas que sa surface supérieure.

L'écrou moteur, qui fait corps avec le porte-charbon positif, est exécuté de la même manière que l'écrou de réglage. Ce sont également trois petits goujons qui le rendent dépendant du mouvement de la vis. Grâce à ce détail de construction, on n'a pas à redouter les frottements anormaux et les coincements qui

accompagnent généralement l'emploi des écrous à filetage ordinaire.

Les solénoïdes H (Fig. 161 *bis*) renferment à leur partie supérieure une bague en fer S; leur noyau G G a un diamètre d'environ 15 millimètres en bas et de 6 millimètres en haut. Le ressort antagoniste R est facilement accessible; il peut se régler par un écrou molleté placé extérieurement.

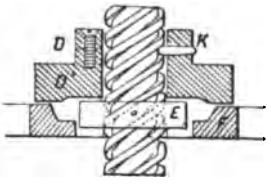


Fig. 161. — Écrou supérieur du régulateur Cance.

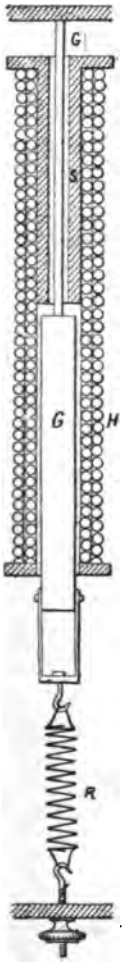


Fig. 161 *bis*. — Solénoïde du régulateur Cance.

L'examen de ces quelques détails montre les soins minutieux apportés à l'étude de cet appareil qui est très répandu à Paris. Les magasins du Bon Marché, à eux seuls, en utilisent près de 300.

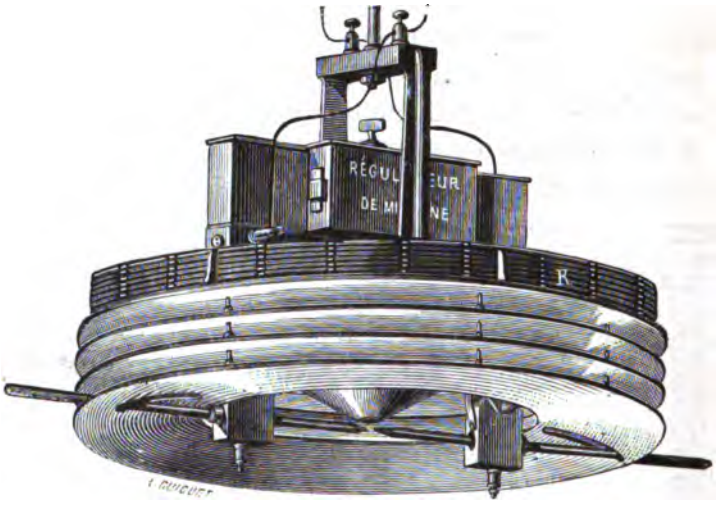
En général M. Cance recommande le montage des arcs en dérivation, ce qui rend tous les foyers indépendants les uns des autres et permet d'établir, dans le même réseau, des régulateurs et des lampes à incandescence.

Régulateur de Mersanne. — L'appareil de M. de Mersanne (Fig. 162) est caractérisé par la disposition des crayons et par leur mode d'avancement. Au lieu d'être verticaux, comme dans presque tous les régulateurs, les crayons *cc'* sont placés horizontalement et guidés par une série de galets à gorge, ce qui permet d'employer de longues baguettes, tout en n'intercalant dans le circuit qu'une longueur relativement faible de ces baguettes.

L'appareil contient deux électro-aimants à fil fin placés dans le même circuit de dérivation. L'un d'eux sert à régler la marche d'un moteur à ressort qui fait avancer les pointes l'une contre l'autre; l'autre sert à produire l'écart lorsque les crayons sont en contact.

Pour bien comprendre les divers mouvements du régulateur de Mersanne, il est nécessaire de

suivre un à un les organes représentés (Fig. 162 et Fig. 163), en se reportant à la légende suivante :



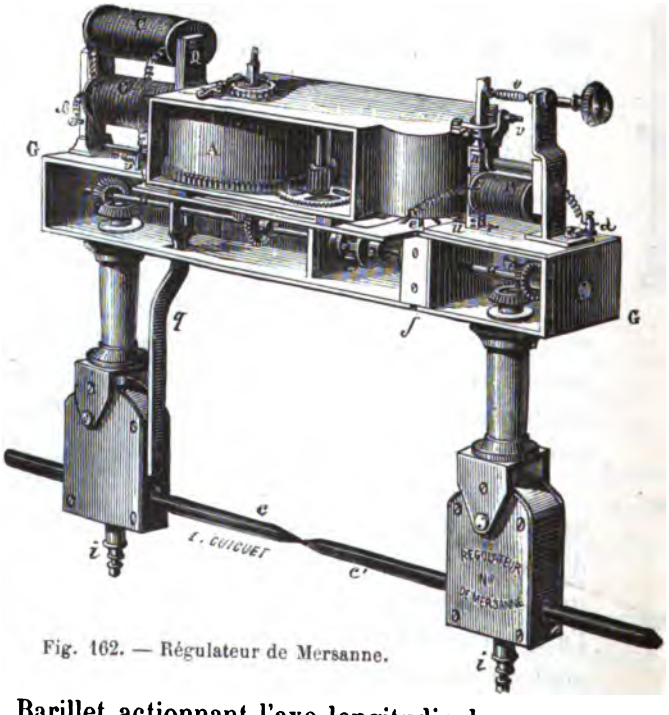


Fig. 162. — Régulateur de Mersanne.

A, Barillet actionnant l'axe longitudinal *a a*;
a a Arbre qui transmet le mouvement aux deux arbres *b b*

des porte-charbons. Cet arbre est divisé en deux tronçons inégaux réunis par des manchons à la Cardan et isolés électriquement;

G G, Boîte rectangulaire contenant l'arbre *a a* ;

b b Arbres verticaux recevant le mouvement des arbres *a a* par des engrenages coniques;

d d Arbres transversaux (Fig. 163) actionnant les roues *e*, lesquelles entraînent dans leur mouvement les galets *g g* ;

g g Galets qui, en appuyant sur les crayons, les font avancer progressivement l'un contre l'autre;

h h Galets de pression maintenus contre les crayons au moyen d'un ressort tendu plus ou moins par la vis *i*;

e Etoile d'encliquetage placée horizontalement;

B, Electro-aimant à fil fin dont l'armature *n* est éloignée par le ressort antagoniste *o* ;

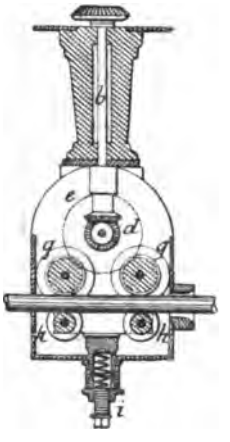


Fig. 163. — Détails du régulateur de Mersanne.

n Armature qui, par sa partie inférieure, embraye ou désembraye l'étoile *e* dont on ne voit que quelques dents sur le dessin. Le désembrayage, qui permet au mouvement du moteur A de se communiquer aux divers arbres, puis aux galets et aux crayons, a lieu dès que le courant de dérivation traversant le fil de l'électro-aimant B est assez intense pour contrebalancer la force du ressort *o*. Quand l'arc est revenu à sa longueur normale, le courant principal reprend son intensité et le courant de dérivation diminue, ce qui a pour effet de faire osciller l'armature du côté inverse et d'embrayer le moteur;

v Vis de buttée servant à régler la position normale de l'armature;

C C, Électro-aimant dont le fil est dans le même circuit de dérivation que celui de l'électro-aimant B;

q Tige fixée sur l'un des porte-charbons et portant à sa partie supérieure l'armature Q de l'électro-aimant C C.

L'armature Q est retenue par un ressort antagoniste dont

l'action est réglée de telle sorte que le courant de dérivation doit atteindre son maximum d'intensité pour que l'armature soit attirée. Ce maximum d'intensité correspond naturellement au moment où les pointes se touchent. Le porte-charbon auquel est fixée la tige *q* fait alors un petit mouvement de bascule qui provoque la formation de l'arc voltaïque.

Le régulateur de M. de Mersanne doit avoir son barillet remonté tous les jours au moment de la mise en place des crayons. Son fonctionnement est très régulier. Comme exemple d'applications nous citerons l'éclairage de la place du Carrousel à Paris.

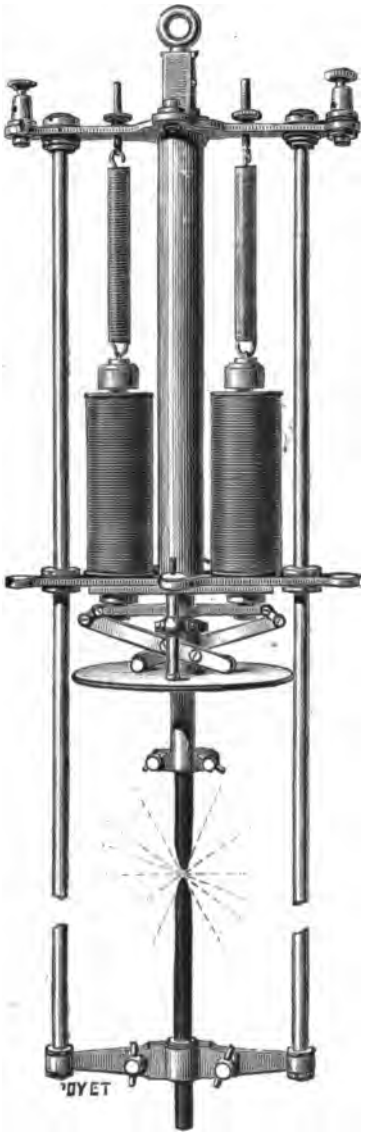


Fig. 164. — Régulateur A. Gérard.

Régulateur A. Gérard. — M. Anatole Gérard a longtemps fait de l'éclairage au moyen de l'arc voltaïque et il a combiné pour cette industrie les éléments d'une foule de lampes qui fonctionnaient assez bien ; il s'occupe aujourd'hui d'incandescence et, sans avoir complètement abandonné sa fabrication de régulateurs, il l'a reléguée au second plan. Nous représentons (Fig. 164) un des derniers appareils à arc de cet inventeur.

La partie caractéristique de ce régulateur est le frein, qui se compose de deux pièces croisées en X, portant chacune deux goujons en acier venant presser sur le porte-charbon supérieur.

Ces pièces sont reliées par deux petites bielles à une entretoise placée sous un double solénoïde de dérivation. Les noyaux en fer doux qui traversent les solénoïdes reposent sur l'entretoise et sont surmontés de deux petites masses sur lesquelles viennent s'attacher les ressorts antagonistes.

Lorsqu'un courant traverse cet appareil, il passe par les bobines qui deviennent actives et attirent leurs armatures ; elles font alors baisser le frein en X qui vient appuyer ses branches sur le disque et desserre quelque peu le tube porte-charbon supérieur, de manière à lui permettre de glisser jusqu'à ce que les deux charbons viennent au contact. A ce moment le courant s'affaiblit dans la dérivation et passe par les charbons ; les ressorts font remonter les tiges, entraînent le frein et, par suite, le tube porte-charbon supérieur; les charbons se séparent et l'arc s'établit.

Les choses restent en cet état jusqu'à ce que, l'usure des charbons augmentant la longueur de l'arc et par conséquent sa résistance, la dérivation devienne prépondérante, desserre le frein et permette au charbon supérieur de descendre un peu pour rétablir la longueur normale de l'arc.

Toutes ces actions se font d'une façon si insensible que la descente du charbon supérieur a lieu d'une manière presque continue et par fractions infinitésimales.

Le tube central de la lampe est un corps de pompe à air dont le piston est solidaire du porte-charbon supérieur; quand le charbon tend à descendre, il se forme dans ce corps de pompe un vide imparfait qui en retarde la chute et supprime les chocs.

Une simple vis extérieure permet de régler la rentrée d'air.

Sur le même principe, M. Gérard a étudié un régulateur différentiel en plaçant des solénoïdes à gros fil dans le prolongement des solénoïdes en dérivation.

Régulateur Mondos. — Cet appareil, un des plus simples qu'on connaisse, est représenté en schéma (Fig. 165).

La tige A du porte-charbon positif est enveloppée à sa partie supérieure d'un manchon E qui peut s'élever de quelques millimètres dans la cage renfermant l'ensemble du mécanisme.

Un levier C, articulé en O, sert à soulever le manchon. Ce levier est soumis par l'une de ses extrémités à l'influence d'un électro-aimant B, placé en dérivation, et il possède à l'autre extrémité un contre-poids P dont la position normale est réglée par une vis V.

Un second levier D, articulé en Q, porte une armature H, un contrepoids M et un petit frein F qui appuie sur la tige A en passant par une ouverture ménagée dans le manchon E.

Au repos, les charbons ne se touchent pas, le poids P maintient le manchon à sa position supérieure, et le poids M fait presser le frein contre la tige pour l'immobiliser.

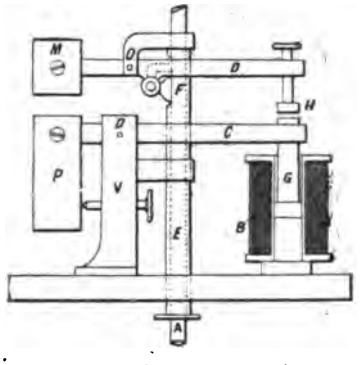


Fig. 165. — Mécanisme du régulateur Mondos.

L'armature G est solidaire du noyau en fer qui pénètre dans l'électro-aimant. L'armature H est influencée par ce noyau qui s'aimante lorsque le courant traverse les fils de l'électro-aimant.

Quand on établit la communication du circuit avec la lampe, l'action de l'électro-aimant B est maxima puisque le courant principal ne traverse pas les charbons. Les poids P et M sont soulevés, le manchon E abaissé et le sabot du frein levé, ce qui permet à la tige A de s'abaisser et de mettre ainsi les pointes en contact. A ce moment, le courant traversant les crayons, la puissance de l'électro-aimant devient minima; les poids P et M descendent; le frein F arrête la tige qui remonte avec le manchon. L'arc se produit.

La descente de la tige s'opère, au fur et à mesure de l'usure des crayons, au moyen de l'armature H qui soulève le poids M et desserre le frein dès que l'action magnétique de l'électro-aimant s'accroît un peu.

M. Mondos a mis récemment dans sa lampe un électro-aimant à interruption, du système Gramme. Cet organe a certainement amélioré le fonctionnement de l'appareil; mais il lui a enlevé du même coup son originalité et sa simplicité.

Régulateur Gravier. — Le régulateur Gravier (Fig. 166) se compose essentiellement d'une série de rouages montés sur un bâti triangulaire dont le dernier mobile D est embrayé par un frein F. Celui-ci est commandé par l'armature C d'un électro-aimant E E placé en dérivation sur le circuit. Un ressort R, réunissant les extrémités des leviers S et T, ramène constamment l'armature à sa position normale quand l'électro-aimant n'agit pas.

La tension du ressort est réglée par la vis V.

Un électro-aimant à gros fil, placé à la partie inférieure de la lampe et agissant sur le porte-charbon négatif, opère le recul au moment de l'allumage.

Le fonctionnement s'explique de lui-même.

Le seul point à noter dans la combinaison de M. Gravier, c'est la construction du cylindre C servant d'armature à l'électro-aimant supérieur.

On construit ce cylindre en plaçant verticalement entre deux puissants pôles magnétiques un moule cylindrique de cuivre mince rempli de limaille de fer. Lorsque les parcelles de limaille se sont orientées sous l'influence des pôles, on coule dans les moules de la paraffine.

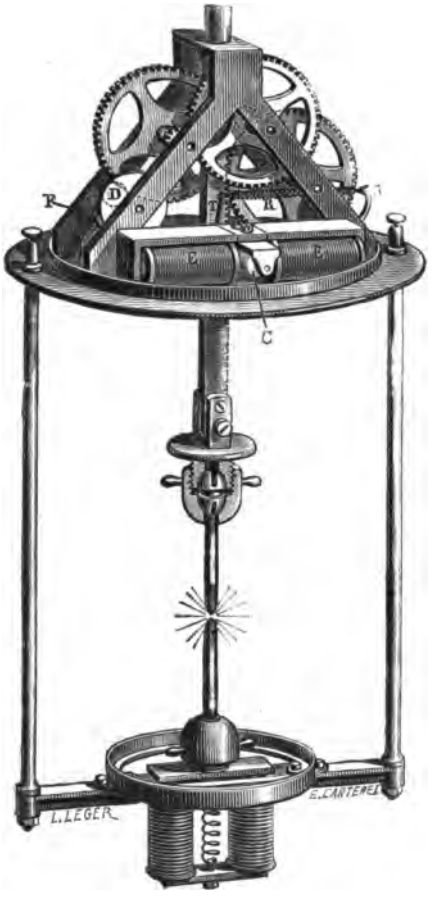


Fig. 166. — Régulateur Gravier.

On obtient ainsi un cylindre dans lequel les parties magnétiques sont distribuées d'une façon spéciale et qui oscille entre deux pôles d'électro-aimant, exactement comme le ferait un excentrique en fer.

Inutile d'ajouter que cet appareil fonctionne assez bien, si toutes ses parties sont étudiées et exécutées convenablement; mais que le cylindre à molécules orientées n'ajoute absolument rien à la régularité ou à la fixité de l'arc.

APPAREILS USITÉS EN AMÉRIQUE

Régulateur Brush. — Dans les régulateurs Brush, le porte-charbon positif sert de moteur et le mouvement d'horlogerie est remplacé par un cylindre à glycérine et une rondelle de coincement. Le cylindre à glycérine placé en haut de la lampe est traversé par l'extrémité supérieure du porte-charbon, laquelle extrémité est munie d'un tampon ou piston, percé de trous, de sorte que le porte-charbon ne peut descendre qu'avec une vitesse égale à celle de l'écoulement de la glycérine à travers ces trous; le mouvement se trouve donc très amorti. La rondelle de coincement sert d'embrayage et de désembrayage. Le crayon négatif reste fixe.

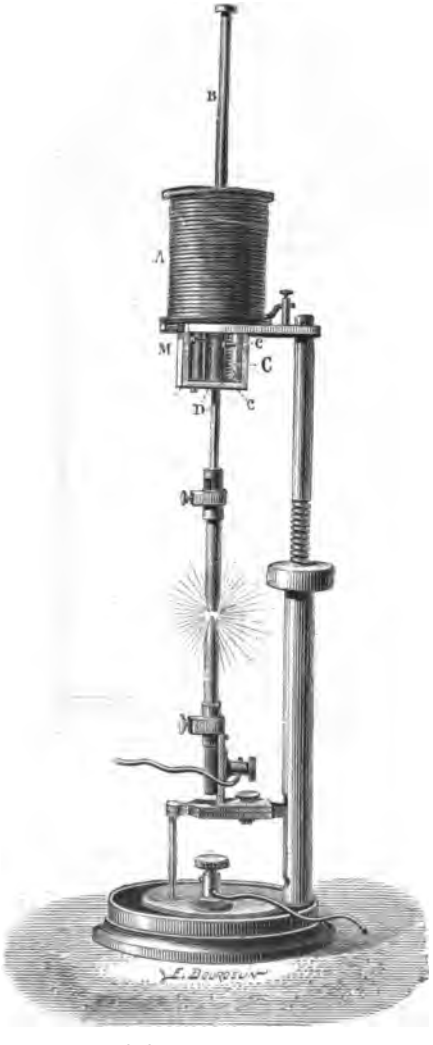


Fig. 167. — Régulateur Brush.

Dans les premiers appareils Brush, le mécanisme se composait (Fig. 167) d'un solénoïde A, d'un noyau en fer doux D, d'une tige B servant de porte-charbon positif, d'une rondelle de coinçage et de deux ressorts antagonistes *c c*, le tout placé dans la cage C reliée au solénoïde par le cadre M.

Les crayons se touchaient pendant le repos. Quand le courant passait, le noyau D était vigoureusement attiré dans le solénoïde et, au moyen d'un petit crochet, soulevait la rondelle de coinçage. Celle-ci, qui avait une ouverture un peu plus grande que le diamètre de la tige B, s'obliquait et entraînait la tige dans son mouvement ascensionnel limité par une vis, réglable à volonté.

Quand, par suite de l'écart des crayons, l'action des ressorts *cc* primait celle du solénoïde, la rondelle de coinçage s'abaissait un peu et la tige B descendait jusqu'à ce que l'attraction magnétique, l'emportant de nouveau, fît coincer ladite rondelle contre la tige et l'empêchât de descendre.

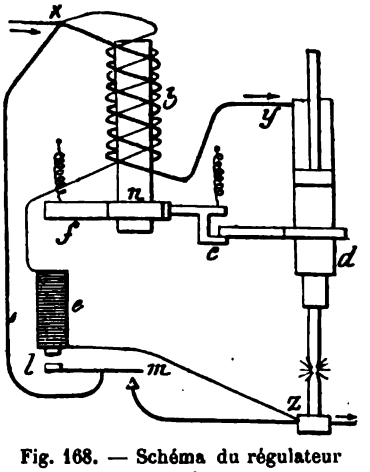


Fig. 168. — Schéma du régulateur Brush.

Dans ses nouveaux régulateurs, M. Brush a adopté la disposition dont nous représentons le schéma (Fig. 168).

Le courant arrive en X, traverse une bobine *b* entourée de gros fil et entre en *y* dans le porte-crayon supérieur pour sortir de la lampe en Z. Une dérivation en fil fin, reliant les points X et Z, s'enroule également autour de la bobine *b*, mais en sens inverse du gros fil. Lorsque le circuit est fermé, le noyau *n* est attiré dans la bobine sous l'action différentielle des deux courants et soulève la pièce *f*. Au moment de l'allumage, la dérivation agit faiblement, la pièce *f* est fortement attirée et entraîne le charbon au moyen de la fourche *c* et de la bague *d*. Cette bague *d* se soulève d'un seul côté, coince et s'oppose au mouvement du porte-charbon jusqu'à ce que l'action différentielle des courants laisse fléchir un peu l'armature *n* et ramène la bague dans une position plus horizontale. Les crayons se rapprochent alors par la chute de la tige supérieure, et l'arc reprend sa longueur normale.

Le cylindre à glycérine, destiné à adoucir les mouvements

de la tige motrice, est, comme dans l'appareil précédent, creusé dans l'intérieur même de cette tige.

En cas d'accident, la lampe est mise hors du circuit au moyen d'un électro-aimant *e* dont les fils sont traversés par le courant de dérivation et qui n'attire son armature *l* que lorsque le circuit est rompu dans l'intérieur de la lampe. (On conçoit que l'intensité dans la dérivation est maxima quand la résistance au passage du courant principal devient infinie.) L'armature oscille en son milieu, et l'extrémité *m* la met en communication avec la borne négative de l'appareil. Il s'établit instantanément un court circuit, et les autres lampes ne sont nullement influencées par l'accident survenu à l'une d'entre elles.

Pour les éclairages de longue durée, M. Brush construit des lampes à deux paires de charbons. Ces charbons brûlent successivement (la deuxième paire, quand la première est complètement usée). Il y a deux solénoïdes différentiels et une pièce triangulaire à double entaille pour soulever les rondelles de coincement. L'une des entailles de la pièce triangulaire est plus large que l'autre, en sorte que l'une des tiges est soulevée la première; l'arc se produit donc de ce côté jusqu'à ce que les crayons soient consumés.

La partie supérieure des crayons est garnie d'un tube métallique qui vient empêcher la tige de se soulever lorsque son rebord est parvenu contre la rondelle de coincement. Les deux premiers crayons restent alors en contact, et l'arc jaillit entre les deux autres qui s'usent à leur tour.

Un récipient de glycérine est placé derrière le ressort antagoniste de l'armature pour amortir les mouvements de cette armature. Les tiges sont mises dans le circuit au moyen de petites brosses analogues à celles qui servent à recueillir les courants dans les dynamos.

Le régulateur Brush donne de bons résultats pour les installations en plein air où la fixité de la lumière n'est pas indispensable; il est surtout appliqué, dans les stations centrales des États-Unis, pour l'éclairage des voies publiques.

Régulateur Weston. — M. Weston a déjà combiné un grand

nombre de régulateurs, et il est probable qu'il modifiera encore ses derniers types avant d'arriver à un appareil tout à fait satisfaisant. Ses études, bien que non définitives, méritent cependant d'être examinées avec soin, car elles indiquent chez l'inventeur une profonde connaissance de la question et sont généralement d'une grande simplicité.

En voici deux parmi les plus répandues dans l'industrie.

La figure 169 montre le mécanisme du régulateur exposé par la Société Weston, en 1881, à Paris.

L'électro-aimant A est garni de gros fil sur le noyau et de fil fin extérieurement. Son armature B est soutenue par deux petites lames flexibles EE en maillechort. Une pièce coudée L, articulée en H, reçoit le ressort antagoniste R, lequel peut se régler au moyen de la vis V. Le levier de coincement D oscille en M, et son extrémité vient reposer sur le plateau de la lampe. Les mouvements de l'armature sont amortis par le cylindre à glycérine C. Une petite came G permet de maintenir en place la tige F quand on remplace les charbons.

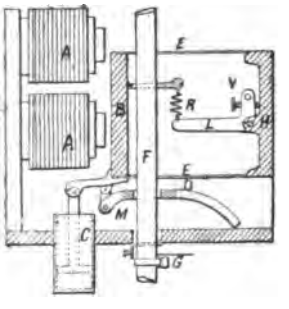


Fig. 169. — Régulateur Weston (ancien type).

Lorsque la lampe est mise dans le circuit, l'armature B est attirée par l'électro-aimant A; elle soulève le levier D, et celui-ci entraîne par coincement la tige F, laquelle produit l'écart des pointes de charbon. Au moment où la résistance de l'arc devient trop grande, elle affaiblit le courant principal; l'armature B moins attirée descend, et le levier D reprend sa position horizontale en dégageant la tige F qui s'abaisse et diminue la longueur de l'arc.

La figure 170 représente le mécanisme complet du dernier régulateur construit par la Société Weston. La figure 171 montre clairement le détail de l'armature oscillante des solénoïdes.

Le mécanisme se compose de deux solénoïdes verticaux A et B, garnis, l'un de gros fil, l'autre de fil fin, dans lesquels se meuvent les noyaux en fer doux *a* et *b*; d'un porte-charbon R, servant de moteur pour le rapprochement des crayons; d'une

traverse L oscillant en son milieu et pénétrant dans les noyaux *a* et *b* par ses extrémités; d'une pièce fixe à deux branches verticales P supportant les tourillons de la traverse L; d'un levier coudé *d* participant à tous les mouvements de la traverse L et muni d'un ressort antagoniste S et d'un piston se mouvant dans le cylindre à air D; d'un levier coudé K, servant à régler la tension du ressort antagoniste; de deux tiges fixes CC, guidant les noyaux en fer doux et leur faisant conserver leur position verticale; d'un manchon de coinçage E, relié à la traverse L par les bras J et I, articulés en *j* et *i*; d'un levier H, dont la position normale est réglée par la vis *r* et dont la fonction est de ramener le manchon de coinçage à une position telle que la tige R puisse librement descendre. FF sont les parties saillantes des plateaux sur lesquels vient se fixer l'enveloppe du régulateur.

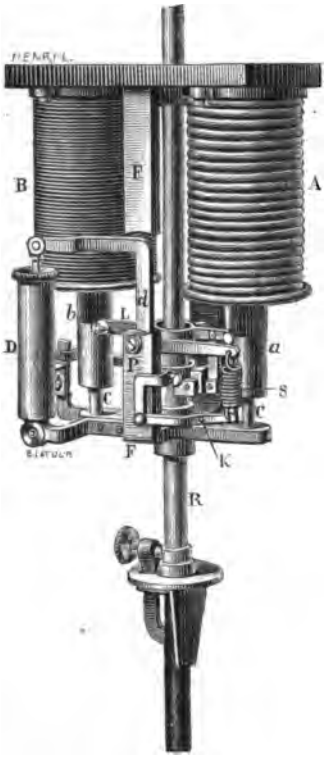


Fig. 170. — Régulateur Weston (nouveau type).

A l'allumage, le manchon en fer doux *a* est vivement attiré dans le solénoïde A; la traverse L en oscillant soulève le porte-charbon positif et produit l'écart. Petit à petit la résistance de l'arc augmente, l'intensité du courant principal diminue et le ressort antagoniste, réglé par l'influence croissante du solénoïde en dérivation, ramène la traverse à sa position horizontale.

Il suffit ensuite d'un petit mouvement en sens inverse, provoqué par l'attraction du noyau *b* dans sa bobine B, pour produire un léger soulèvement du manchon de coinçage, lequel soulèvement permet à la tige R de glisser librement pendant une fraction de seconde. Ce dernier mouvement fréquemment répété assure à l'arc une longueur constante et à la lumière une fixité presque absolue.

M. Weston fait généralement fonctionner ses lampes avec une force électromotrice de 35 à 40 volts aux bornes et un courant de 20 ampères.

Comparé au régulateur à électro-aimants décrit plus haut, le régulateur à solénoïdes et à leviers oscillants présente plusieurs avantages : l'amplitude de ses mouvements d'attraction est plus grande, ce qui augmente la sensibilité du mécanisme; la position des noyaux à coulisse est plus facile à régler que celle des armatures vibrantes; la dépense de puissance électrique dans l'appareil

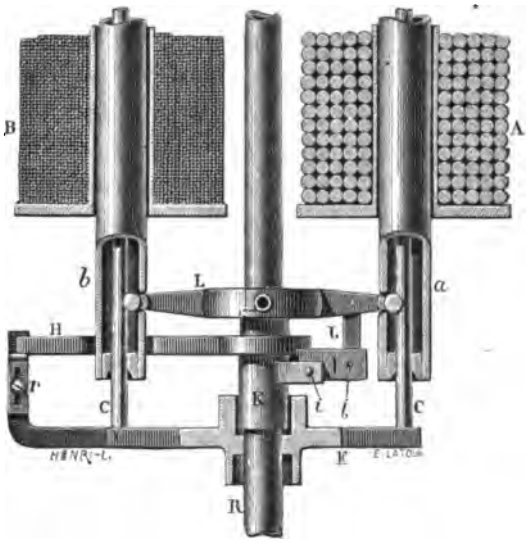


Fig. 171. — Détails du régulateur Weston (nouveau type).

est un peu plus faible pour le dernier système; la continuité des mouvements de descente de la tige positive est mieux assurée; bref, en changeant toutes ses combinaisons et en faisant un nouvel appareil n'ayant pas le moindre rapport avec le premier, M. Weston a beaucoup perfectionné ses installations d'éclairage à arc. Il lui reste à augmenter le potentiel aux bornes des régulateurs et à diminuer l'intensité du courant qui les traverse, pour se trouver dans d'excellentes conditions industrielles.

Régulateur Thomson-Houston. — La figure 172 représente un des régulateurs différentiels de MM. Thomson et Houston.

D, électro-aimant à gros fil recevant le courant principal.

K, électro-aimant à fil fin recevant une faible dérivation de ce courant.

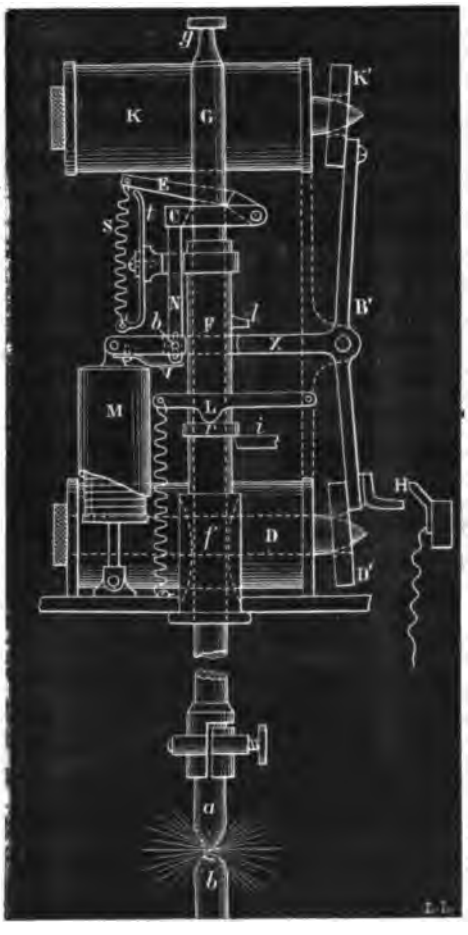


Fig. 172. — Régulateur Thomson-Houston.

B', levier oscillant portant les armatures D' et K' des électro-aimants D et K.

X, traverse faisant corps avec le levier B' et suivant tous ses mouvements.

M, cylindre à air destiné à amortir les mouvements des armatures D' et K' et, par suite, celui des leviers B' et X qui en sont solidaires.

C, bague de réglage élastique, fixée à l'extrémité de la pièce N, laquelle repose sur un ressort V et est reliée avec la traverse X au moyen d'un goujon *b* pouvant coulisser dans une rainure verticale.

E, petit levier d'embrayage sollicité par le ressort S à s'appuyer sur le buttoir *t* quand la pièce N descend suffisamment.

a charbon supérieur.

b charbon inférieur.

G *f*, porte-charbon supérieur servant de moteur pour le rapprochement des pointes.

Avant de terminer cette légende, nous allons expliquer le fonctionnement normal du régulateur.

Les charbons étant en contact, si le courant est amené dans l'appareil, l'électro-aimant à gros fil D attire vivement son armature D'; la traverse X s'incline et soulève le cylindre à air M. Dans son mouvement, elle élève la pièce N, le ressort V, la rondelle C et la tige G, ce qui donne naissance à l'arc.

Quand la distance des pointes devient trop grande, le levier B' oscille en sens inverse; la rondelle C se remet horizontalement; le levier E vient reposer sur la buttée *t*, et la tige G descend un peu. Mais, au même moment, le ressort V pousse le levier N devenu libre, de sorte que la tige est de nouveau arrêtée par le coincement de la rondelle C. Les choses se poursuivent ainsi jusqu'à usure complète des charbons.

Dans le cas où le porte-charbon moteur serait retenu par un grippement, l'arc continuant à s'agrandir, l'attraction de l'électro-aimant en dérivation K atteint son maximum, et un contact s'établit en H, mettant dans le circuit un électro-aimant de sûreté, lequel électro, non figuré sur notre croquis, agit sur un buttoir *i* et permet à la rondelle *r* de descendre sous l'influence du levier L. La rondelle *r* entraîne, dans sa descente, le manchon F qui est fou sur la tige G. Le manchon F porte le buttoir *t*, de sorte que le levier E s'abaisse et force la tige à descendre avec lui. Un buttoir *l* fixé au manchon oblige au même moment la traverse X à s'abaisser et ouvre le circuit fermé en H.

Le bouton *g* vient toucher sur une partie métallique et met la lampe en court circuit lorsque les charbons sont presque entièrement usés.

Au lieu de mettre un électro-aimant de sûreté en communication avec l'interrupteur, les inventeurs ont mis dans leurs appareils récents un rhéostat en fil de maillechort qui sert au passage du courant si la lampe vient à s'éteindre. Cela simplifie beaucoup l'appareil et le rend plus pratique.

Nous signalerons encore dans le même ordre d'idées l'appareil dû à la collaboration de MM. Thomson et Rice, représenté (Fig. 173, 174, 175) et exploité par la Société Thomson-Houston.

Ce régulateur possède deux électro-aimants dont l'un E (Fig. 173) est appelé *électro de contrôle* et l'autre E' est désigné

sous le nom d'*électro de mise en marche*. La garniture de l'électro E est formée de deux fils de diamètres différents. Le fil fin a une résistance d'environ 150 ohms pour chaque bobine ; il est enroulé sur les noyaux, tandis que le gros fil, dont la résistance est relativement insignifiante, est à la partie extérieure. Les huit extrémités libres de ces deux enroulements sont reliées entre elles de manière à ce que le courant traverse d'abord le gros fil des deux bobines, puis revienne par le fil fin; les bobines sont ainsi montées en série, mais le gros fil et le fil fin sont enroulés en sens inverses. Par suite, le courant en traversant le fil fin a la même direction qu'en traversant le gros fil. Les deux enroulements ajoutent ainsi leurs effets. Après sa jonction avec le fil fin, le gros fil de l'électro E est relié avec une pièce K et de là à l'une des bornes du régulateur par l'intermédiaire d'une lame oblique I. Lorsque les charbons ne se touchent pas, le courant entre ainsi par la borne positive, parcourt le fil de l'électro-aimant E et sort par la borne négative. Le fil fin, en quittant l'électro E, va aboutir directement à la borne négative du régulateur.

L'armature A B, articulée en O et reliée en Q avec une petite tige auxiliaire Q P parallèle au porte-charbon positif, est tenue éloignée de l'électro E par un puissant ressort R. Le cylindre à air C amortit la brusquerie des mouvements de l'armature A B. La liaison entre le porte-charbon positif et l'armature de l'électro E est obtenue à l'aide d'un joint élastique que nous décrivons plus loin.

L'électro-aimant de mise en marche E' est garni d'un gros fil en connexion avec la borne positive, d'un bout, et avec la masse de l'appareil, de l'autre bout.

Quand le courant est envoyé dans le régulateur, l'armature A B est naturellement attirée jusque contre les pôles de l'électro de contrôle E. En oscillant, l'armature dégage le porte-charbon supérieur des mâchoires d'une petite pince annulaire, et les deux charbons qui étaient éloignés l'un de l'autre, par le jeu même du commutateur d'ouverture M, viennent immédiatement en contact.

Le circuit se trouve alors fermé sur les charbons et le courant traverse l'électro-aimant de mise en marche E'. L'armature K

de cet électro est attirée, et elle rompt le contact qui existait entre K et I. Le gros fil entourant l'électro E n'a plus de communication avec le pôle négatif du régulateur, et le courant cesse de le

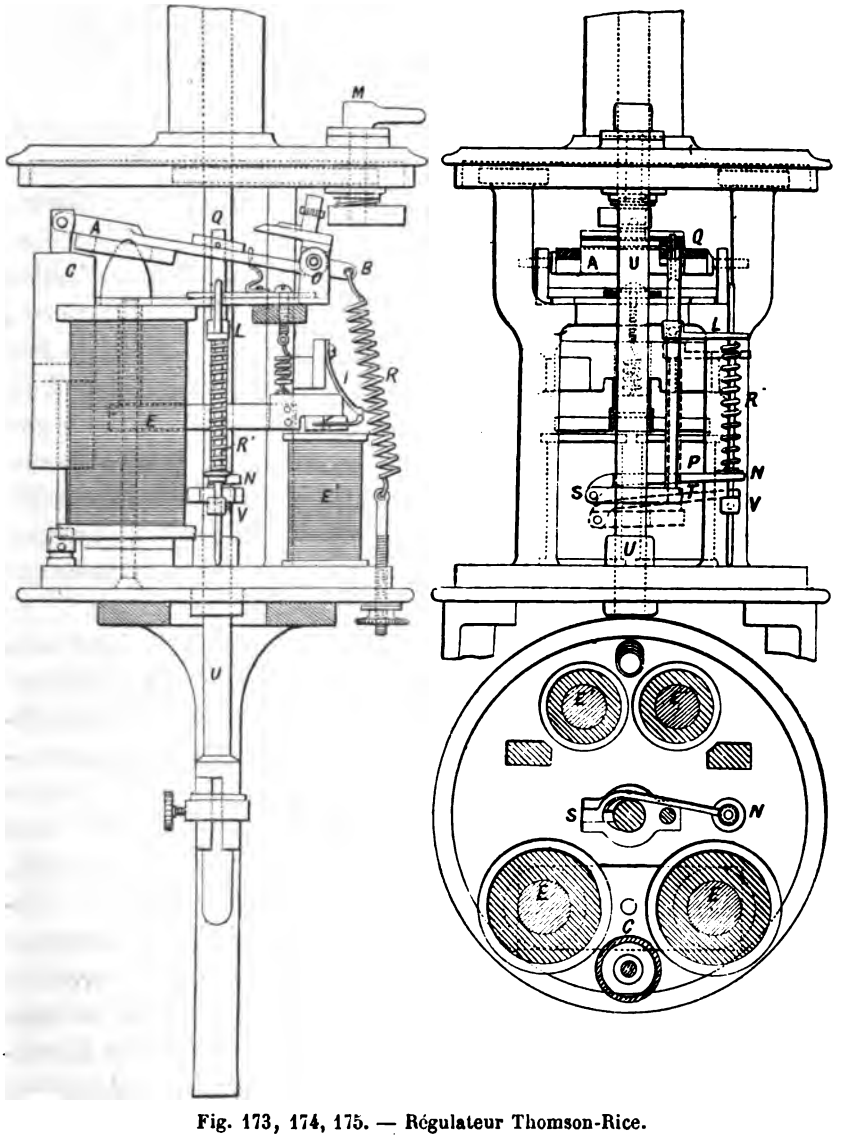


Fig. 173, 174, 175. — Régulateur Thomson-Rice.

traverser. Sous l'influence du ressort R, l'armature A revient à sa place primitive en soulevant le porte-charbon supérieur. L'arc jaillit.

La tige U du porte-charbon supérieur (Fig. 174) coulisse entre les deux bagues à charnières S P et S T qui, sous l'effort du ressort R', exercent une pression contre elle (l'effet de ce ressort R' étant de faire presser la face intérieure, côté gauche, de l'anneau S P, et la face intérieure, côté droit, de l'anneau S T, contre la tige U).

Tant que le ressort R' exerce sa pression entre les leviers L et N, la tige du porte-charbon positif est solidaire des bagues S P et S T, formant frein, et de l'armature A de l'électro-aimant E.

Mais quand l'armature A est fortement attirée par l'action magnétique de son électro, elle abaisse la tige Q P, le levier L, les bagues du frein et le ressort R . Le frein reste en action tant que le ressort R' conserve sa longueur, c'est-à-dire jusqu'à ce que le levier P N vienne rencontrer la buttée fixe V. Si, à ce moment, l'armature A continue son mouvement dans le même sens, le ressort R' se comprime et les bagues S T et S P cessent de faire frein (voir le tracé pointillé) sur la tige U ; celle-ci descend alors par son propre poids et opère le rapprochement des pointes.

Nous insisterons sur ce petit mécanisme qu'on désigne sous le nom de *joint élastique*, et qui est basé sur le même principe que celui du régulateur Gramme (Fig. 154 *bis*) : au début, l'électro E, placé dans le circuit principal, a une grande action magnétique ; l'armature A est vivement attirée et l'amplitude de son oscillation autour du point O est maxima. Le levier N vient donc rapidement toucher la buttée V, et le porte-charbon positif, immédiatement libre, descend jusqu'à ce que les pointes se touchent. Au même instant, le courant principal cesse de traverser l'électro E, et l'armature A fortement sollicitée par le ressort antagoniste R, s'écarte de l'électro et rend au ressort R' toute sa puissance de serrage ; la tige U, de nouveau solidaire de l'armature, est soulevée d'une quantité un peu inférieure à celle prévue pour la longueur de l'arc voltaïque.

Pendant la marche, l'électro-aimant E n'est plus soumis qu'à l'influence du courant de dérivation ; cette influence grandit avec la longueur de l'arc, et il arrive un moment où l'armature A

amène de nouveau le levier N, situé dans le prolongement de l'anneau S P, en contact avec la buttée V et comprime légèrement le ressort R'. La tige U devient libre et l'écart des pointes diminue.

Dans le cas où un charbon viendrait à se briser, ce qui est d'ailleurs extrêmement rare en service courant, l'armature K sollicitée par son ressort antagoniste viendrait toucher la pièce I et remettrait ainsi l'électro-aimant E dans le circuit principal. Instantanément, le porte-charbon U tomberait et ramènerait les pointes en contact.

Si le charbon inférieur, mal retenu par sa douille de serrage, venait à tomber, le courant principal traverserait constamment l'électro-aimant E, et les autres régulateurs, placés dans le même circuit que celui considéré, continueraient à fonctionner normalement.

Au début, il peut arriver que le commutateur M ne soit pas fermé et que les charbons se touchent ; le courant principal traverse alors les deux électro-aimants E et E', et l'arc se produit par le recul imédiat de l'armature A.

Le régulateur Thomson-Rice jouit d'une grande réputation aux États-Unis ; nous l'avons employé avec succès en 1886, pour éclairer une partie du palais de l'Industrie et la voie du tramway électrique. C'est un appareil rustique, essentiellement pratique, que nous recommanderions surtout pour l'éclairage des voies publiques.

APPAREILS USITÉS EN BELGIQUE

Régulateur Jaspar. — Le régulateur breveté par M. Jaspar, de Liège, est du type Archereau ; mais il est plus complet et plus sensible que ne l'était celui-ci.

La figure 176 représente l'appareil en marche, au moment où les crayons sont presque complètement usés.

La tige *t* est en communication avec le pôle positif d'une pile ou d'une machine dynamo-électrique ; elle est complètement isolée du corps de l'appareil. Cette tige est armée, à sa partie supérieure, d'un porte-charbon et, à sa partie inférieure, d'un

guide glissant le long d'une coulisse verticale empêchant le porte-charbon de décrire un arc de cercle autour d'elle. Elle possède, comme le régulateur Serrin, deux boutons molletés qui permettent de donner au charbon supérieur une position rigoureusement en rapport avec le charbon inférieur et de remplacer les charbons lorsqu'ils sont totalement usés. Une petite corde est attachée au guide et à la jante d'une poulie de transmission R, et sert à relier les mouvements des deux porte-charbons.

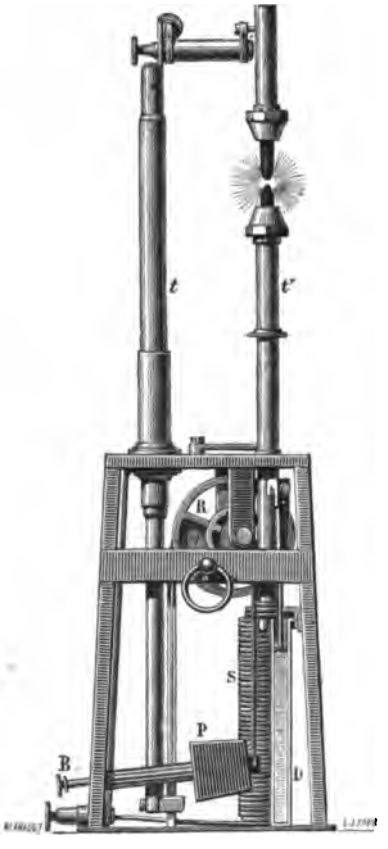


Fig. 176. — Régulateur Jaspar.

La tige t', en communication avec l'ensemble de l'appareil et avec le pôle négatif du générateur d'électricité, soutient le porte-charbon inférieur et pénètre en bas dans un solénoïde S. Cette tige est en fer. Elle est attachée par une petite corde, laquelle est fixée sur la jante d'une poulie faisant corps avec la première et ayant un diamètre moindre, de sorte que, au fur et à mesure de la descente de la tige t, la tige t' remonte d'une quantité égale à la moitié de la descente.

Près du solénoïde S, en communication avec le courant, se trouve un cylindre D rempli de mercure, dans lequel se meut un piston ayant un peu de jeu latéralement. Ce piston est relié par une tringle à la tige t'.

Un contrepoids P coulisse sur un levier horizontal attaché par une corde à une troisième poulie faisant corps avec les deux premières. Un bouton B, placé extérieurement, permet de rapprocher ou d'éloigner le poids P suivant qu'on veut diminuer ou augmenter son action.

Un autre contrepoids *r* est fixé entre les bras de la première poulie et a pour but de régulariser l'action du solénoïde sur la tige en fer qui le pénètre.

Le régulateur Jaspar possède en outre une série de pièces accessoires pour embrayer le mouvement des tiges, attacher les fils conducteurs, supporter l'ensemble du mécanisme, etc., et une boîte vernie enveloppant le tout pour préserver les organes contre la poussière des ateliers et les chocs extérieurs.

Le fonctionnement est très facile à comprendre.

Au début de l'opération on élève la tige *t* aussi haut que possible et on garnit les deux porte-charbons de crayons en charbon de cornue ou de crayons artificiels, en ayant soin de placer à la partie supérieure un crayon deux fois aussi long que celui du bas. On ajuste bien les pointes des crayons l'une sur l'autre, puis on fait passer un courant électrique à travers l'appareil.

L'action du solénoïde se fait immédiatement sentir sur la tige inférieure; celle-ci s'abaisse de quelques millimètres, et l'arc voltaïque jaillit entre les pointes de charbon sans amener aucune des oscillations fâcheuses qu'on remarque dans la plupart des autres régulateurs. Les tiges se trouvent ainsi embrayées tant que le solénoïde retient son armature intérieure.

Lorsque l'arc voltaïque dépasse une longueur déterminée, le courant devient plus faible, le solénoïde perd une partie de sa puissance attractive et les charbons, sollicités par le poids de la tige *t*, se rapprochent un peu. Ce rapprochement augmente naturellement l'intensité du courant et, par suite, l'action du solénoïde qui reprend ses fonctions.

Le contrepoids P agit en sens opposé de la tige motrice *t*, puisqu'il tend à la relever sans cesse; on le fait avancer sur son levier pour lui donner un effet inversement proportionnel à la puissance de la source électrique. Cela permet d'employer un même régulateur avec des courants d'intensités diverses.

La tige qui plonge dans le mercure produit deux effets également utiles: elle empêche d'abord tout mouvement brusque des tiges, car, le mercure ne pouvant passer qu'entre le piston et la surface intérieure du cylindre, c'est-à-dire par un très petit espace annulaire, s'écoule lentement et s'oppose à une

descente ou à une montée trop rapide; puis, elle procure un excellent contact à la tige négative.

Le contact de la tige positive *t* est obtenu par le frottement contre le fourreau de cette tige ou par un petit frotteur disposé *ad hoc.*

Des expériences directes, d'accord d'ailleurs avec la théorie des solénoïdes, ont démontré que l'action magnétique exercée par le solénoïde sur la tige *t'* est (à égale intensité du courant) d'autant plus grande que la tige est moins enfoncée dans le solénoïde; l'appareil donnerait donc un écart, entre les charbons, plus grand à la fin de la course qu'au commencement, si M. Jaspar n'eût imaginé d'établir le petit contrepoids *r* et de laisser la possibilité de placer ce contrepoids plus ou moins près du centre, suivant l'intensité du courant de régime. C'est là le point saillant de l'invention.

Au début, le contrepoids *r* étant à gauche diminue l'action de la tige motrice et augmente, par suite, l'effet du solénoïde. Petit à petit, le moment de ce contrepoids diminue; il devient nul au sommet et reprend des valeurs inverses, pour atteindre son maximum lorsque les charbons sont usés.

Notre dessin représente cette dernière position. Il est facile de voir qu'à cet instant l'action de la tige *t* est augmentée de tout l'effet du contrepoids *r*, et que, si le solénoïde est devenu plus puissant, la force antagoniste est également plus grande.

L'appareil de M. Jaspar est ainsi caractérisé par trois points :

1° Cylindre à mercure empêchant les mouvements brusques des tiges et donnant un bon contact au charbon négatif;

2° Contrepoids à action variable permettant de placer un régulateur quelconque sur un courant électrique plus ou moins intense;

3° Contrepoids mobile réglant à chaque instant l'action du solénoïde, et conservant à l'arc voltaïque la même longueur pendant toute la durée des crayons.

Régulateur Pieper. — *Appareil ancien.* — Le principe adopté primitivement par M. Pieper dans ses régulateurs à arc est représenté par le schéma (Fig. 177).

La tige A du porte-charbon positif est très légère ; elle glisse à frottement doux dans une sorte de fourreau, ce qui permet à l'appareil de fonctionner en dehors de la position verticale si cela est nécessaire.

L'électro-aimant B, que, pour simplifier, nous indiquons vertical, est ordinairement horizontal ; il est monté en dérivation et agit sur une armature articulée. Cette armature est maintenue par deux ressorts antagonistes RR et munie d'un bras transversal DE garni d'un petit sabot métallique à chaque extrémité.

Une palette F fixée sur l'armature C vient, à chaque oscillation, établir un contact en G, lequel contact a pour effet de retirer l'électro-aimant B du circuit et de ramener l'armature C dans la position que lui assignent les ressorts RR.

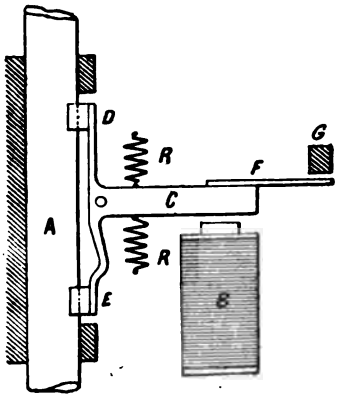


Fig. 177. — Mécanisme du régulateur Pieper.

Le recul est obtenu, comme dans le régulateur Breguet, au moyen d'un électro-aimant excité par le courant principal et placé sous le porte-charbon négatif, à la partie inférieure de la lampe.

Dès que l'action de l'électro-aimant B se fait sentir par suite de la résistance anormale de l'arc, l'armature C est attirée, le sabot D quitte la tige, tandis que le sabot E presse contre sa surface et l'oblige à descendre un peu.

L'électro-aimant est mis hors du circuit et l'armature reprend sa position primitive. Le courant revient en B qui sollicite de nouveau son armature et fait agir les sabots D et E. Ce mécanisme constitue ainsi un moteur électrique dont les vibrations incessantes donnent au charbon supérieur un mouvement presque continu d'une lenteur extrême.

Une série de vis, manœuvrées de l'extérieur, permet de régler les ressorts, le trembleur et tous les organes qui ont une influence sur l'arc.

Cet appareil fonctionne bien; mais il doit surtout cette qualité à sa construction très soignée et très bien comprise; on reconnaît l'ancien armurier dans son inventeur.

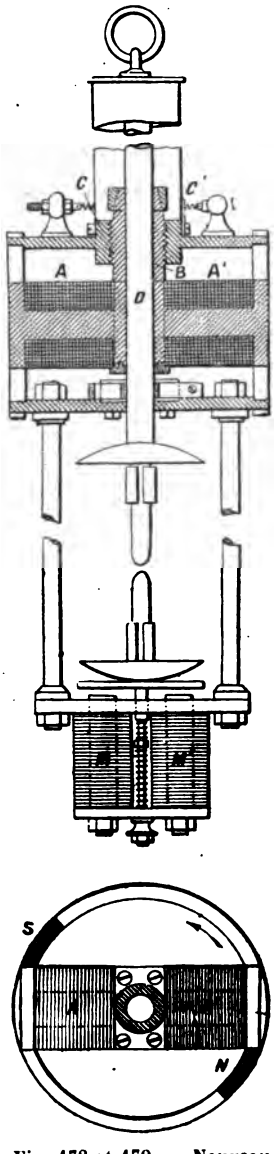


Fig. 178 et 179. — Nouveau régulateur Pieper.

Appareil nouveau. — M. Pieper, pour rendre plus sûr le mouvement de rapprochement des crayons dans sa lampe, a imaginé la disposition représentée (Fig. 178 et 179) qui supprime complètement les sabots du trembleur.

L'électro-aimant en dérivation AA' a deux paires de pôles : l'une à l'extérieur, qui tend à les faire tourner autour d'un axe commun pour les amener au contact des armatures S et N; l'autre à l'intérieur, ayant pour mission de retenir la tige en fer D du porte-charbon positif. Une douille en deux parties B, placée à la partie centrale de l'appareil, fait corps avec l'électro-aimant. Cette douille est terminée par une partie filetée qui s'engage dans l'écrou fixe C, et qui porte à son extrémité supérieure une traverse maintenue dans une position déterminée au moyen de ressorts antagonistes. En C', est fixée une tige de contact qui met l'électro-aimant hors du circuit lorsqu'elle vient toucher la vis V. Le porte-charbon D a son mouvement contrôlé par un encliquetage à friction qui l'empêche de tourner de droite à gauche et de descendre sous la seule action de la pesanteur.

Le recul est produit par l'électro-aimant MM' agissant sur la tige du porte-charbon inférieur.

Lorsque l'arc dépasse sa longueur de régime, l'influence magnétique des bobines AA' les fait tourner de gauche à droite; la

douille B et la tige D participent à ce mouvement, et ces trois organes descendent dans l'écrou C; au même instant, l'électro-aimant est retiré du circuit par l'interrupteur, et les ressorts antagonistes font tourner les pièces en sens inverse, ce qui les oblige à remonter à leur place initiale. Seule, la tige D, qui ne peut pas tourner de droite à gauche et qui n'est d'ailleurs plus attirée par les pôles intérieurs de l'électro-aimant, reste en place. Le trembleur continue ses vibrations, et la tige D descend petit à petit pour compenser l'usure des pointes.

Cet appareil est étudié soigneusement. Il peut s'établir à un prix modéré et donner un excellent service, à la condition d'être bien entretenu. Une oxydation, même minime, de la tige D, rendrait la descente un peu moins régulière.

Régulateur de Puydt. — Dans cet appareil (Fig. 180), la tige du porte-charbon supérieur sert de moteur; elle engrène avec la première roue A d'un jeu d'engrenages placé sur un châssis pouvant osciller autour de l'axe de cette roue. La tige inférieure, également taillée en crémaillère, engrène avec une seconde roue calée sur le même axe, et vient butter sur la traverse *b*. Les deux roues qui engrènent avec les tiges ont un diamètre tel que le point lumineux ne change pas de hauteur pendant toute la durée de l'éclairage.

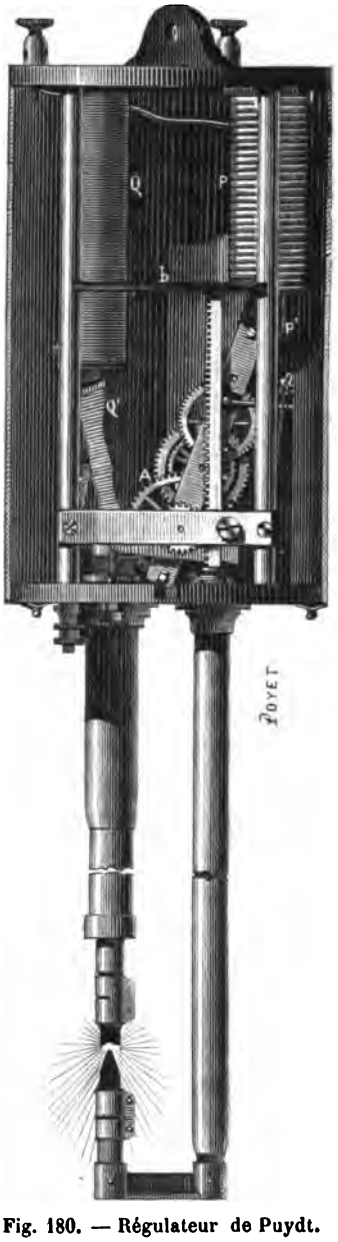


Fig. 180. — Régulateur de Puydt.

Le recul est obtenu au moyen d'un électro-aimant P placé sur le courant principal et agissant sur une armature oblique reliée au châssis des rouages. L'armature P', influencée par l'action magnétique de l'électro, fait osciller le châssis autour de l'axe inférieur, ce qui oblige les tiges à s'éloigner l'une de l'autre. L'arc est réglé à une longueur constante par un électro-aimant de dérivation Q dont l'armature Q' est fixée à un levier en U, oscillant autour du même axe que le châssis des rouages. Ce levier est muni à son extrémité de droite d'un doigt d'arrêt *a* qui embraye ou désembraye une roue à ailettes terminant le jeu d'engrenages. Un ressort facilement réglable ramène le levier à sa position normale dès que le courant est interrompu.

Ce régulateur est manufacturé par M. Jaspar, de Liège. Il est simple et donne de bons résultats dans la pratique industrielle.

APPAREILS USITÉS EN ANGLETERRE

Régulateur Crompton. — Le régulateur primitif de M. Crompton était caractérisé par un électro-aimant à double armature : la première, assez massive, placée près des pôles de l'électro ; la seconde, très légère, superposée à la première et maintenue à une certaine distance de la précédente par un ressort antagoniste.

Le rôle de l'armature principale était de produire l'écart des charbons ; celui de l'armature légère, d'opérer le rapprochement successif des pointes.

L'armature principale faisait corps avec le porte-charbon négatif ; elle prenait une position déterminée quand le courant était envoyé dans le régulateur et conservait cette position jusqu'à ce que le circuit fût rompu. L'armature légère portait un bras coudé qui venait faire frein sur le dernier mobile d'un mouvement d'horlogerie, quand l'écart des pointes était normal, et qui laissait défiler les engrenages et la crémaillère, taillée sur une des faces de la tige positive, lorsque l'arc devenait trop grand.

L'électro-aimant n'avait ainsi, en marche normale, qu'à faire

mouvoir une pièce pesant quelques grammes, ce qui rendait l'appareil extrêmement sensible : pour un millimètre de rapprochement, il fallait plus de cinquante déclenchements du mouvement d'horlogerie. C'est, sans doute, cette sensibilité exagérée qui rendait l'appareil trop délicat et trop difficile à régler, et qui en a fait abandonner l'exploitation au bout de quelques années.

Régulateur Crompton et Crabb. — Le nouveau régulateur manufacturé par M. Crompton est représenté (Fig. 181). Il se compose essentiellement d'un grand solénoïde différentiel A B, dans lequel se meut un tube en fer J, maintenu dans une position déterminée par un ressort antagoniste intérieur, dont on règle la tension et la hauteur dans le tube au moyen de deux vis facilement manœuvrables de l'extérieur.

Ce régulateur possède généralement deux paires de crayons, afin de pouvoir fonctionner 12 heures consécutives avec la même garniture de charbons.

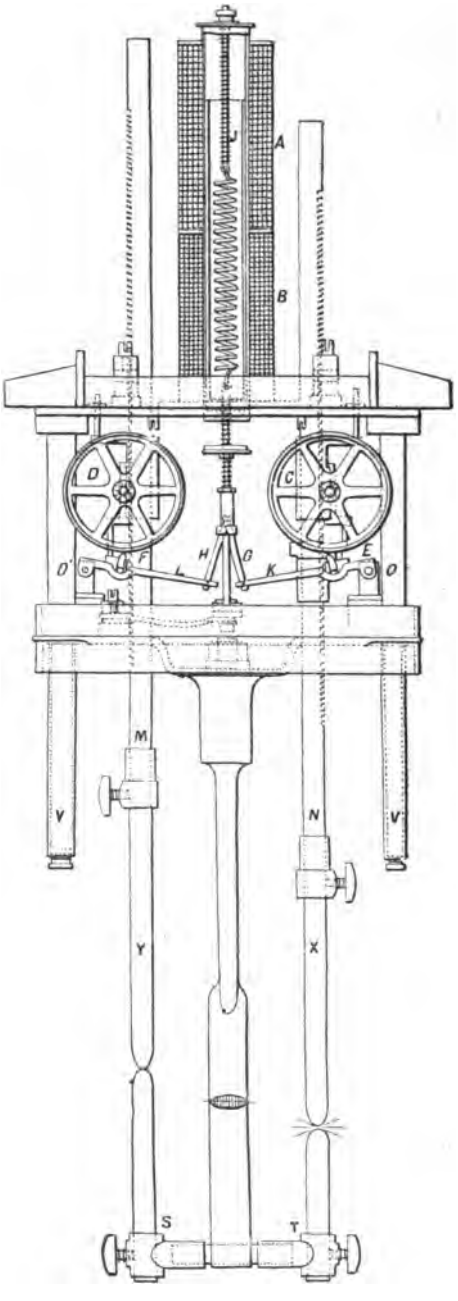


Fig. 181. — Régulateur Crompton et Crabb.

Les tiges M et N sont taillées en crémaillères et engrènent avec des pignons sur l'arbre desquels sont calées les roues de frein C et D.

Les sabots E et F, commandés par les leviers G et H, solidaires de l'armature du solénoïde A B, empêchent les roues C et D de tourner, tant que l'arc voltaïque ne dépasse pas sa longueur de régime.

Les deux tiges extérieures V V servent à maintenir le globe entourant le foyer lumineux.

Les porte-charbons inférieurs S et T sont supportés par une tige centrale.

Les leviers K et L, sur lesquels reposent les sabots de frein E et F, sont articulés en O et O′, et portent, entre les sabots de l'articulation, deux petites tiges à peu près égales au rayon des roues C et D.

Si l'action du solénoïde amène les leviers L et K au-dessus de l'horizontale, tout le poids des tiges et des charbons est supporté par les roues C D, et le frottement entre ces roues et leurs sabots est suffisant pour les empêcher de tourner; par suite les crémaillères ne peuvent pas descendre. Quand, au contraire, les leviers L et K sont en dessous de l'horizontale, le poids est supporté par les petites tiges intermédiaires. Les roues peuvent alors tourner et les crémaillères s'abaissent jusqu'à ce que les pointes des crayons viennent se toucher.

Quand on envoie le courant dans le régulateur, il traverse d'abord le gros fil du solénoïde; le noyau se soulève et entraîne les leviers L, K et les roues C, D; l'écart se produit entre les pointes et en même temps les roues sont embrayées. Au moment où l'arc dépasse sa longueur normale, le courant dérivé qui traverse le fil fin du solénoïde devient plus fort, et le noyau s'abaisse avec les leviers et les roues. Ces dernières deviennent libres, et les crémaillères descendent d'une certaine quantité.

Les deux paires de charbons ne brûlent pas en même temps; la petite tige intermédiaire de gauche est plus longue que celle de droite. Le charbon de droite est ainsi relevé avant celui de gauche, et, par suite, les charbons X sont séparés avant les charbons Y et maintenus à une trop grande distance pour qu'il y

ait formation d'un arc entre eux. Quand les charbons Y sont brûlés, un arrêt empêche leur porte-charbon de descendre davantage ; l'arc devient très grand, et le noyau s'abaisse fortement, ce qui finit par rendre libre la seconde crémaillère et par amener les pointes des charbons X en contact.

La seconde paire de charbons brûle comme la première, et,

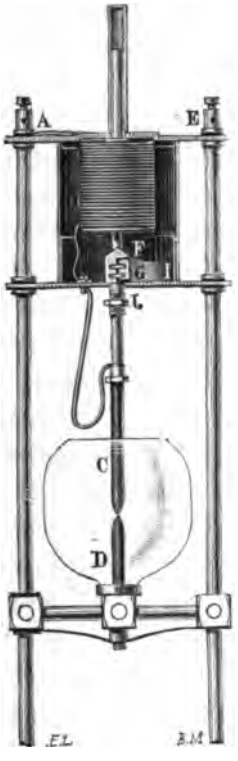


Fig. 182. — Régulateur Rogers.

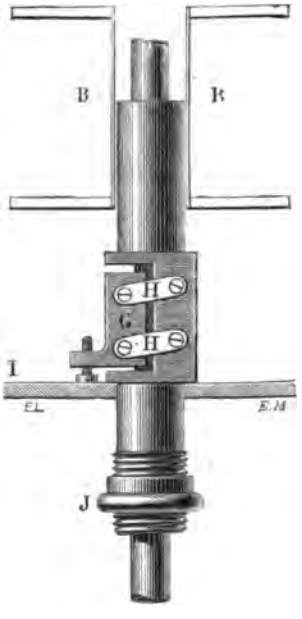


Fig. 183. — Mécanisme du régulateur Rogers.

lorsqu'elle est consumée, un arrêt empêche la crémaillère de descendre plus bas ; le mouvement du noyau tubulaire s'accentue encore jusqu'à ce qu'un contact vienne s'effectuer et mettre la lampe hors du circuit. Le même contact se produit si, pendant la marche, le courant est interrompu pour une cause quelconque : rupture d'un charbon, grippement d'une crémaillère, etc., etc.

Le régulateur Crompton et Crabb est un appareil de premier ordre. Le nombre de ses applications est considérable, sans

atteindre cependant celui des applications des régulateurs Gramme et Thomson-Rice.

Régulateur Rogers. — Le régulateur combiné par M. Francis Rogers, de Londres, est l'un des plus simples que nous connaissions. Nous le représentons (Fig. 182).

Le courant entre par la borne A et sort par la borne E.

Le solénoïde B B est garni de gros fil que traverse tout le courant.

Le manchon en fer doux F est terminé par une embase carrée en deux parties : l'une fixe, l'autre mobile. Ces deux parties sont reliées entre elles par quatre lamelles HH. La partie mobile G est munie d'une vis réglable à volonté, dont la tête vient reposer sur la plaque I (Fig. 183).

Dès que le circuit est fermé, l'armature pénètre dans le solénoïde; la pièce G vient appuyer sur la tige motrice et l'entraîne avec elle. L'arc jaillit entre les pointes D et C. Lorsque le courant s'affaiblit dans le solénoïde, le manchon en fer doux descend un peu; la pièce G cesse de presser contre la tige motrice, et celle-ci, en tombant, diminue la longueur de l'arc.

La longueur normale de l'arc est réglée au moyen de l'écrou J. Il va sans dire que nous ne saurions recommander un appareil sans ressorts ni organe d'amortissement; nous le signalons à cause de la simplicité du désembrayeur.

Régulateur Lever. — M. Lever, de Manchester, a adopté le système de coinçage américain pour arrêter la descente du porte-charbon positif; les détails de construction de son appareil sont assez originaux pour mériter une mention toute spéciale.

L'électro-aimant FF (Fig. 184) est garni de fil fin et placé en dérivation sur le courant principal. L'attraction de cet électro-aimant sur son armature A est contrebalancée par un ressort D facilement réglable en E. La rondelle de coinçage B, que nous avons représentée à part (Fig. 185), est soulevée par le taquet I faisant corps avec le levier oscillant L sur lequel l'armature A se trouve fixée. Quand la rondelle est horizontale, le porte-charbon supérieur peut glisser librement sous l'action de la pesanteur;

mais, quand elle est inclinée par le ressort, elle pince le porte-charbon et le retient.

Le fonctionnement du mécanisme se comprend à première vue : si la lampe n'est pas dans le circuit, la rondelle retient le porte-charbon et les deux crayons restent séparés l'un de l'autre, si leur contact n'est pas assuré d'avance ; quand on ferme le circuit, le courant traverse l'électro-aimant F; l'armature A est vivement attirée, ce qui donne la liberté à la tige C, et les deux pointes se touchent presque instantanément. A ce moment, le courant trouvant un passage ayant moins de résistance que les fils de l'électro-aimant, l'action magnétique de celui-ci diminue notablement, et le ressort D devenu prépondérant soulève l'armature L, la rondelle B et la tige C, que le coinçage rend solidaires entre elles. L'arc se trouve ainsi établi.

Fig. 184. — Régulateur Lever.

Les crayons brûlent alors jusqu'à ce que l'augmentation de résistance de l'arc fasse dériver une proportion plus grande du courant dans les fils de l'électro-aimant et permette à l'action magnétique d'équilibrer celle du ressort. La rondelle B prend, petit à petit, une position de plus en plus horizontale

et laisse enfin descendre la tige C. Cette descente est généralement très faible, presque imperceptible, et la tige est de nouveau coincée, jusqu'à ce qu'une nouvelle augmentation de l'arc produise un nouveau réglage; et ainsi de suite, jusqu'à usure complète des crayons.

Une pompe à glycérine R amortit les mouvements brusques de l'armature.

Une vis G permet de régler la hauteur du support sur lequel repose la rondelle B lorsqu'elle est inactive.

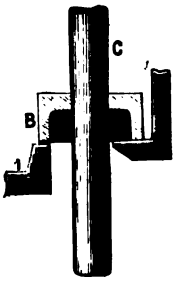


Fig. 185. — Rondelle de coinçage du régulateur Lever.

Un écrou J limite le rapprochement de l'armature A des pôles de l'électro-aimant F. Les vis S S′ servent d'attaches aux conducteurs introduisant les tiges et, par suite, les charbons, dans le circuit.

Quand toutes les lampes d'un circuit sont mises en action, si les pointes ne se touchent dans aucune d'elles, la résistance des électro-aimants est très grande et, à moins d'être excitée elle-même en dérivation, la dynamo est souvent impuissante à produire l'excitation de son propre inducteur et celle des électro-aimants des lampes. Pour obvier à cette difficulté, M. Lever a imaginé un appareil automatique qui a pour effet de placer la dynamo en court circuit sur une dérivation de résistance modérée jusqu'à ce que le courant ait atteint son intensité normale. Cet appareil cesse d'agir dès que les lampes sont allumées.

Récemment M. Lever a modifié plusieurs détails de son régulateur : il a remplacé l'électro-aimant par un solénoïde pour que l'armature ait une plus grande course; il a ajouté un coupe-circuit automatique analogue à celui de la lampe Brush, pour rendre les appareils indépendants les uns des autres lorsqu'ils sont placés en série; il a complètement transformé le châssis et le bâti de la lampe pour en diminuer le volume, etc., etc... Ces changements ont sensiblement amélioré la marche de l'appareil qui était souvent irrégulière avec la première disposition.

Régulateur Bürgin. — Le mécanisme de cet appareil repré-

senté (Fig. 186) se compose d'un électro-aimant A à gros fil; d'une armature B garnie, au pourtour, de fil de très grande résistance et articulée aux deux leviers CC d'une poulie à friction D sur laquelle frotte le ressort K; d'un support T faisant corps avec l'armature et formé de deux flasques entre lesquelles est placé l'arbre O de la poulie D; d'un ressort antagoniste R; d'une poulie P; d'un anneau M et de diverses pièces accessoires.

Les fils de l'électro-aimant et de l'armature sont enroulés de telle sorte que les pôles magnétiques engendrés dans l'armature sont de même nom que les pôles voisins de l'électro-aimant.

Le porte-charbon supérieur est suspendu au moyen d'une corde enroulée sur la poulie N. Cette corde passe sur la poulie P et entre dans l'armature B, qui est perforée dans toute sa longueur.

Une deuxième corde, enroulée sur un tambour également placé sur l'arbre O, a son extrémité garnie de l'anneau M et sert à remonter le porte-charbon supérieur quand les crayons sont usés.

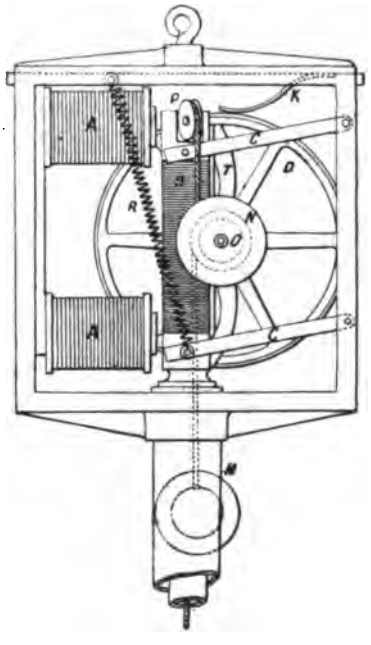


Fig. 186. — Régulateur Bürgin.

A l'allumage, l'électro-aimant attire son armature; les leviers CC oscillent; l'arbre O s'élève; l'arc se produit; en même temps le ressort K embraye la roue D.

Par suite de la combustion des pointes des charbons, la longueur de l'arc augmente peu à peu, ainsi que sa résistance. Le courant dérivé autour de l'armature et l'aimantation de cette dernière augmentent par conséquent jusqu'à ce que la répulsion entre les polarités de même nom permette à l'armature de s'abaisser un peu. Le volant se dégage de l'action du frein et le porte-charbon supérieur descend un peu, grâce à son propre poids. Le courant dérivé autour de l'armature et son magnétisme diminuent immédiatement, et tout le système entre dans un état

d'équilibre instable entre l'action combinée de l'attraction magnétique et du ressort K, d'un côté, et celle du poids du porte-charbon et du ressort R, de l'autre. Il s'ensuit un avancement presque continu du crayon positif et, par suite, une fixité de lumière satisfaisante.

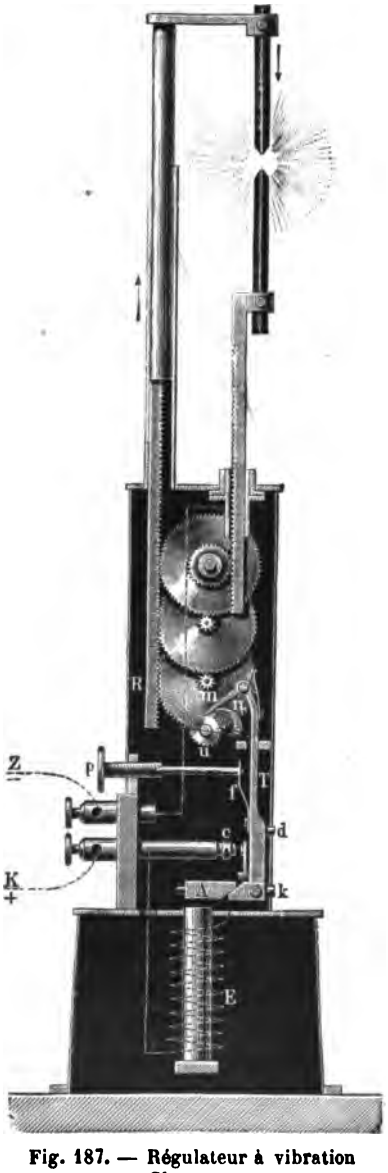


Fig. 187. — Régulateur à vibration Siemens.

APPAREILS USITÉS EN ALLEMAGNE

Régulateurs Siemens. — La maison Siemens et Halske, de Berlin, construit des régulateurs à arc de diverses formes et de diverses puissances, qui se recommandent tous par l'ingéniosité de leurs organes et leur bonne fabrication. Ne pouvant les décrire tous, nous allons présenter, avec quelques détails, les deux modèles qu'on rencontre fréquemment en France ; nous voulons parler du *régulateur à vibration* et du *régulateur différentiel*.

Le régulateur à vibration se compose (Fig. 187) d'un électro-aimant E, dont le fil est traversé par le courant total de la source électrique (ce courant arrive par la borne K et quitte l'appareil par la borne Z); d'un trembleur constitué par l'armature A, le contact *c*, le levier oscillant T, le ressort *f*, le doigt *m* et la petite came *n*; d'un mouvement d'horlogerie composé de 4 mobiles ; d'un porte-charbon positif R servant de moteur; d'un porte-

charbon inférieur engrenant avec une roue ayant un diamètre tel que le foyer lumineux reste fixe dans l'espace; des vis de réglage P et *k*; et de divers organes accessoires.

Ce qui caractérise ce régulateur, c'est son trembleur électro-magnétique, véritable rhéotome vibrant, analogue à ceux des sonneries électriques. Le rôle de ce trembleur est d'écarter les pointes en agissant sur la roue à rochet *u* placée sur le même axe que le volant à ailettes du mouvement d'horlogerie.

Lorsque le courant traverse les fils de l'électro-aimant E, l'armature A est attirée, ce qui fait osciller le levier T et détermine un petit mouvement d'avancement du doigt *m*, lequel pousse le rochet d'un cran; mais l'armature, en s'inclinant, se met en contact avec la borne K, ce qui supprime le courant dans les fils de l'électro-aimant et permet au ressort *f* de ramener toutes les pièces dans leur position primitive. Le courant traverse de nouveau les fils de l'électro-aimant, et le rochet avance d'un nouveau cran.

C'est un véritable moteur électrique qui fonctionne dès que le courant est interrompu totalement.

Son effet sur les porte-charbons se fait sentir quand les pointes se touchent ou quand l'arc est trop petit; si l'arc est assez long, le courant devient moins intense et l'amplitude des mouvements de l'armature est trop faible pour déterminer l'avancement d'un cran de la roue à rochet; le moteur fonctionne toujours, mais il n'agit plus sur les engrenages ni, par conséquent, sur les porte-charbons.

Le petit bouton *d*, visible à l'extérieur, permet de constater la vibration normale du trembleur. La vis extérieure P est destinée à régler la tension du ressort *f*, et la vis *k*, qui traverse également l'enveloppe de l'appareil, a pour objet de régler convenablement, pour le courant qu'on emploie, l'écart de l'armature A. La came *n* maintient le doigt *m* en dehors des crans de la roue à rochet quand les oscillations du levier T ne sont pas suffisantes pour actionner cette roue.

Il nous est maintenant facile d'expliquer le fonctionnement du régulateur à vibration.

Quand le courant ne passe pas, il n'y a qu'un moteur sus-

ceptible d'agir, c'est le porte-charbon positif : si les charbons sont éloignés, il fait mouvoir les engrenages et remonte la tige négative jusqu'à ce que les pointes se touchent.

Quand l'appareil est mis dans le circuit électrique, le trembleur éloigne les charbons, donne naissance à l'arc et continue à agir tant que celui-ci n'a pas atteint sa longueur normale; à ce moment, les vibrations continuent, mais les tiges restent fixes.

L'arc grandit par suite de l'usure des pointes, et le porte-charbon positif descend, communiquant son mouvement aux roues d'engrenage, qui, de leur côté, relèvent le porte-charbon négatif.

Le trembleur fait marcher tout le système en sens inverse, si l'arc devient trop petit, et, grâce à ces deux moteurs qui s'équilibrent et se contrôlent pendant toute la durée de la marche, la lumière est d'une fixité remarquable.

Ce régulateur est en outre pourvu d'un petit mécanisme qui permet de faire mouvoir simultanément les deux charbons et de déplacer le foyer sans éteindre la lumière.

L'emploi d'un trembleur électrique comme moteur est certainement une idée originale qui devrait donner et qui d'ailleurs donne de bons résultats; cependant, il est rare que les mouvements de cliquet et de rochet fonctionnent longtemps d'une manière normale; aussi la pratique industrielle n'a-t-elle pas consacré définitivement l'usage du régulateur à vibration. La maison Siemens elle-même a produit des appareils moins susceptibles de dérangements et beaucoup plus rationnels.

Tel est, par exemple, le régulateur différentiel que nous représentons (Fig. 188).

L'écart des charbons pour la formation de l'arc et le maintien de cet arc à longueur constante sont obtenus dans cet apppareil au moyen du déplacement d'un cylindre en fer doux SS dans deux solénoïdes TT et RR.

Le solénoïde TT est établi avec du fil fin ayant une grande résistance, et le solénoïde RR, avec du gros fil pouvant recevoir, sans échauffement anormal, autant d'ampères que l'arc lui-même.

Le courant, en arrivant au régulateur en L, se partage entre les deux bobines ; la plus grande partie passe dans le solénoïde R et le porte-charbon supérieur Z, traverse l'arc et le porte-charbon inférieur, et quitte l'appareil par la borne L_1; l'autre partie traverse le solénoïde T et rejoint directement la borne de sortie L_1.

Ainsi, le courant dérivé traverse une grande résistance fixe, et le courant principal traverse l'arc qui lui oppose une résistance variable avec la distance des charbons.

Chaque bobine attire le barreau de fer doux avec une force proportionnelle à l'intensité du courant et au nombre de tours de fil. Il se produit donc, dans l'appareil, une série de mouvements dépendant uniquement de la résistance de l'arc. Si la distance des charbons devient trop grande, la résistance de l'arc augmentant en proportion, l'action du solénoïde T s'accroîtra, et le barreau sera déplacé vers le haut. Si, au contraire, la résistance de l'arc diminue, c'est le solénoïde R qui devient prépondérant, et le mouvement inverse se produit. Il résulte de là que, en réglant convenablement le rapport des résistances des solénoïdes, l'équilibre du barreau est indépendant des variations d'intensité du courant total : il ne dépend plus que du rapport des courants principal et dérivé ou, ce qui revient au même, de la longueur de l'arc.

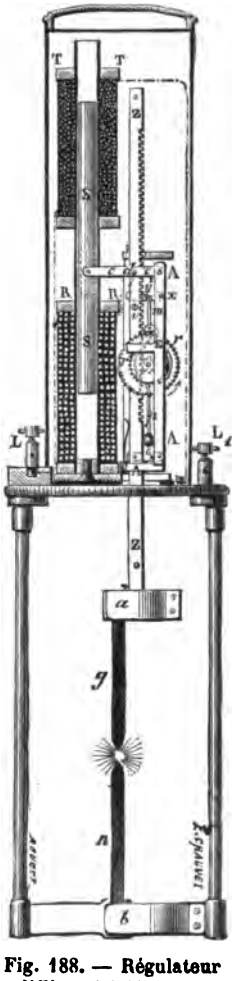


Fig. 188. — Régulateur différentiel Siemens.

C'est là le principe de tous les régulateurs différentiels.

Dans l'appareil Siemens, la tige supérieure Z porte, à l'aide de la pince *a*, le charbon positif *g*, et les tiges inférieures sont reliées par une traverse *b* qui porte le charbon négatif *h*. La traverse *b* est fixe, de sorte que le foyer lumineux descend pendant toute la durée de la marche.

La tige Z est taillée en crémaillère et fait tourner une roue

à échappement r par l'intermédiaire d'un pignon denté. La roue d'échappement est encliquetée par une ancre de mouvement d'horlogerie, laquelle est commandée par un petit balancier p. Ce balancier a pour effet de ne laisser échapper qu'une seule dent par chaque oscillation, et de rendre, par suite, la descente de la tige extrêmement lente.

Le noyau S porte en son milieu une traverse cc_1, articulée en d et reliée à l'extrémité supérieure d'une règle AA. L'extrémité inférieure de cette règle est articulée à une seconde traverse c_2; les deux traverses sont calculées pour assurer à AA une direction toujours verticale. L'ancre porte une petite cheville m qui vient se loger dans une entaille y lorsqu'une troisième traverse x repose sur cette cheville, ce qui empêche alors le balancier de se mouvoir et les pointes de se rapprocher. Pour empêcher que les mouvements du noyau S soient brusques, les inventeurs ont placé, parallèlement au solénoïde R, une petite pompe à air dont la tige est actionnée par le levier cc_1.

Quand le courant ne traverse pas l'appareil, l'ancre est libre, et la tige supérieure descend rapidement jusqu'à ce que les charbons soient en contact. Dès que le circuit est fermé sur les bornes LL_1, le noyau est vivement attiré en bas : la règle A, la tige supérieure et tout le mouvement de réglage s'élèvent, et la lumière jaillit entre les pointes. Au moment où l'arc devient trop grand, le solénoïde T attire le noyau S, la règle AA s'abaisse un peu, et la petite cheville m se dégage, laissant le balancier en liberté. L'ancre oscille et la roue d'échappement se meut lentement sous l'influence de la tige Z qui descend et rapproche les pointes. Tout cela est sans doute un peu compliqué; cependant l'intensité lumineuse subit peu de variations et, en somme, l'appareil fournit un service satisfaisant.

Signalons un dernier point qui n'est pas sans valeur.

Pour permettre de régler l'arc à la longueur normale qu'on désire et suivant l'intensité du courant électrique, le solénoïde supérieur peut monter ou descendre de manière à ce que le barreau de fer doux y soit plus ou moins engagé et, par suite, plus ou moins influencé. Ce mouvement est obtenu au moyen d'une tige filetée sur laquelle on agit par un bouton extérieur.

La figure 189 représente la dernière étude à laquelle la maison Siemens et Halske s'est arrêtée pour la construction des régulateurs à arc.

Le nouvel appareil contient deux électro-aimants, l'un à gros fil D pour établir le recul, l'autre à fil fin N pour régler la longueur de l'arc. Ce dernier est pourvu d'un trembleur C qui actionne une roue à rochet Z et fait tourner une vis S logée dans une des tiges de la lampe. Le porte-charbon supérieur coulisse entre les deux tiges verticales; et, à l'aide d'un petit mécanisme M, il peut être embrayé avec la vis S de manière à descendre lorsque cette vis tourne.

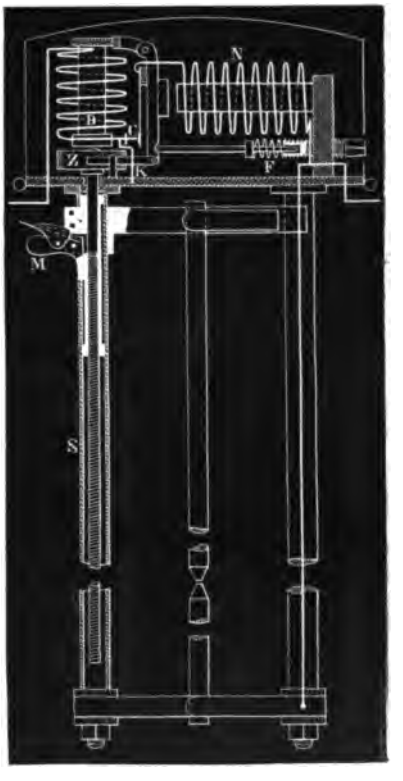


Fig. 189.
Régulateur Siemens (type de 1886).

Quand le courant traverse les électro-aimants, la roue Z, qui remplit le rôle d'armature de la bobine D, monte et soulève le crayon positif. (La roue Z est assez épaisse pour que le rochet K ne la quitte pas, malgré son déplacement vertical). Si l'arc est trop grand, l'électro-aimant N attire par son armature et fait marcher le trembleur C, véritable moteur électrique analogue à celui de la première lampe Siemens, à cette différence près, que le premier éloignait les pointes quand la pesanteur les rapprochait d'une trop grande quantité, tandis que le second rapproche les pointes lorsqu'elles sont à une trop grande distance l'une de l'autre. Une vis, manœuvrée extérieurement, permet de régler la puissance du ressort antagoniste F.

Pour mettre de nouveaux crayons, on désembraye à la main le mécanisme M, ce qui rend toute liberté au porte-charbon supérieur.

Cette lampe est une combinaison assez heureuse des lampes Cance et Siemens (ancien modèle). Son mécanisme est logé dans un espace restreint; son moteur est d'une grande simplicité; tous les organes essentiels sont bien exécutés. Seules, les pinces à charbons nous ont paru trop peu larges pour bien maintenir les pointes vis-à-vis l'une de l'autre.

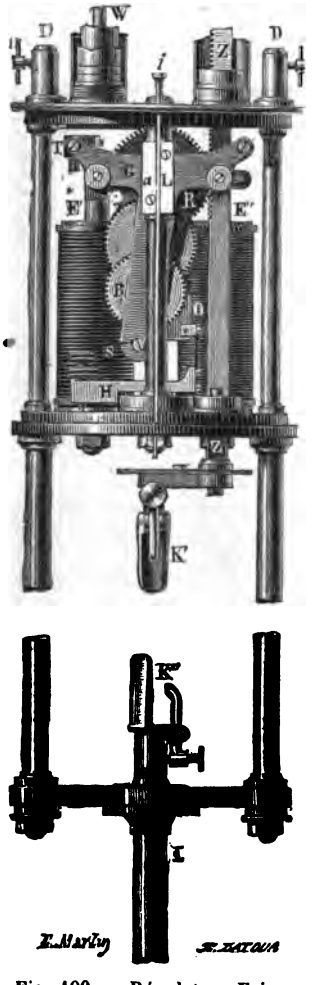


Fig. 190. — Régulateur Fein.

Régulateur Fein. — Le régulateur Fein (Fig. 190) contient une série de rouages disposés à l'intérieur d'un châssis G ayant la forme d'un T, et deux solénoïdes E′ E″ dont les noyaux sont articulés aux extrémités de la traverse du châssis.

Le châssis G est supporté par les plaques L; il oscille, en *a*, sur l'axe même de la roue R engrenant avec la crémaillère Z à laquelle est fixé le porte-charbon positif K′.

Le dernier mobile B est arrêté dans sa rotation par un petit frein O placé à l'extrémité d'une lame flexible, fixée elle-même sur une pièce H dont la position est réglée par la vis S.

Le courant arrive par les bornes D D et traverse toujours le solénoïde en dérivation E″. Il traverse également le solénoïde à gros fil E′, mais seulement quand les charbons sont en contact ou que l'arc est formé.

Au repos, les pointes se touchent. Lorsqu'on ferme le circuit, l'électro-aimant E′ a une action très prépondérante ; il attire vivement son noyau et fait osciller la partie verticale du châssis G de droite à gauche. La roue B se trouve immédiatement embrayée et la tige Z est soulevée, ce qui donne donne naissance à l'arc.

Lorsque, par suite de l'usure des crayons, l'action du solénoïde E'' devient prépondérante, le châssis G oscille en sens inverse, ce qui dégage la roue R et laisse tomber la tige Z.

Si les crayons se brisent, ou si l'arc s'éteint par suite d'un tout autre accident, le courant atteint son maximum dans E'', et la touche T, venant butter sur le plateau supérieur, établit un passage au courant principal à travers une résistance W égale à la résistance totale d'une lampe en fonction ; de sorte que le reste des foyers placés sur le même circuit n'est pas influencé.

M. Fein construit aussi des régulateurs sans solénoïde à gros fil, qui fonctionnent seulement au moyen d'un solénoïde en dérivation et d'un mécanisme analogue à celui que nous venons de décrire. Dans ces derniers appareils, au lieu d'un simple tube I recevant le crayon inférieur en K'', il dispose un électro-aimant effectuant le recul des pointes au moment de l'allumage.

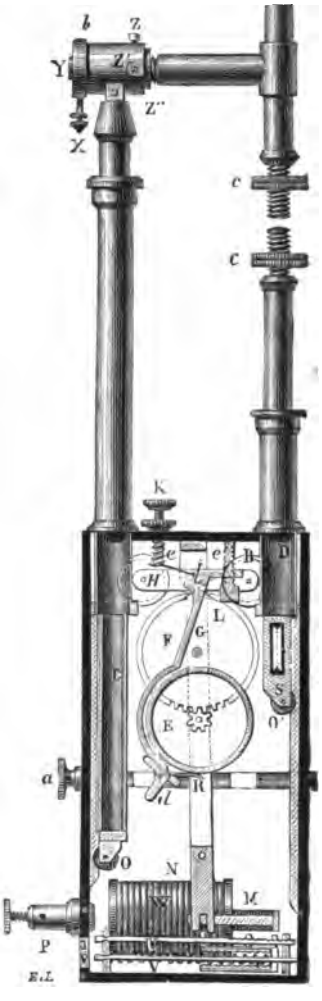


Fig. 191. — Régulateur Hauck.

Régulateur Hauck. — Cet appareil (Fig. 191) a son point lumineux fixe. Ses deux porte-charbons C et D sont reliés entre eux par une corde sans fin, attachée en O, passant sur la poulie H, contournant la roue L, puis les poulies B et S et finalement le galet transversal placé à la partie inférieure du porte-charbon D, d'où elle va s'attacher au plateau situé en haut de l'appareil.

Tant que la roue L est libre, le poids de la tige positive est suffisant pour faire tourner tous les galets et remonter la tige négative; mais, lorsque la roue L est embrayée, le frottement

de la corde sur son pourtour devient tel que les charbons et toutes les pièces du mécanisme restent immobiles.

Les poulies H et B sont placées à l'extrémité du bras transversal de la pièce G, laquelle oscille en *j* et est maintenue à son extrémité inférieure dans une sorte d'étrier faisant corps avec l'armature M d'un solénoïde à deux bobines W.

L'armature M a deux noyaux ; elle est attirée en sens inverse de l'influence magnétique par un ressort horizontal V, dont la tension peut se régler de l'extérieur.

Le solénoïde est à gros fil ; il reçoit tout le courant du circuit.

Une roue à frein E est montée sur le levier G. Sur l'axe de E se trouve un pignon engrenant avec la roue F, laquelle est taillée sur une partie de son épaisseur. Le sabot de frein se termine par un patin guidé par la vis *e* et maintenu dans une position déterminée au moyen d'une lame élastique dont la puissance est réglée par la vis de serrage K.

Au moment de l'allumage, quand les bornes P de la lampe sont mises dans le circuit, l'armature M pénètre dans le solénoïde, et la pièce G s'incline de telle sorte que la poulie H s'élève, la poulie B s'abaisse et la roue E porte sur son frein.

Puis, quand le ressort antagoniste force l'armature M à sortir du solénoïde, par suite de l'affaiblissement du magnétisme, le levier G se rapproche de la position verticale et la roue E reprend sa liberté. Le porte-charbon positif descend, le porte-charbon négatif remonte et l'ensemble de ces mouvements diminue la longueur de l'arc.

Un bouton *a* permet d'enrayer la roue E de l'extérieur en agissant sur une équerre *d*, à n'importe quel moment. Une vis U sert à limiter la longueur maxima de l'arc.

Le ressort R est disposé de façon à amortir les mouvements rapides de la roue E lorsqu'elle est désembrayée.

Le porte-charbon supérieur est guidé au moyen d'une série de vis placées sur la tête de la tige en Z, Z′, Z″, X, Y, *b*, de manière à ce que les deux pointes des charbons placés en *cc* soient toujours bien en regard l'une de l'autre.

Régulateur Wenzel. — Cet appareil est représenté (Fig. 192).

Entre deux plateaux cylindriques, distants d'environ $0^m,20$, se trouve placé l'ensemble du mécanisme, qui comprend notamment : une crémaillère *g* portant le charbon positif et engrenant avec un petit pignon, lequel fait corps avec un tambour en fer *e*; un solénoïde différentiel A et une bobine A′ garnie de fil fin et destinée à augmenter la résistance du courant de dérivation du

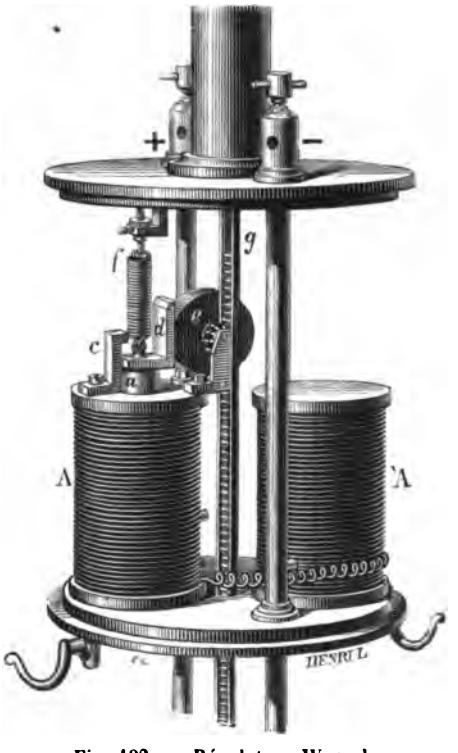


Fig. 192. — Régulateur Wenzel.

solénoïde. Le noyau *a* est muni d'une équerre *d* qui frotte sur le tambour *e*, et il est sollicité en sens inverse du solénoïde par le ressort *f*. Un petit buttoir *c* empêche l'équerre *d* de s'élever au delà d'une hauteur déterminée.

Lorsque le circuit est fermé, le noyau *a* et l'équerre *d* descendent; l'équerre *d* se trouve aimantée et entraîne le disque *e* qui, en tournant, fait monter la crémaillère et écarter les pointes des crayons. Il y a formation de l'arc.

Quand l'arc dépasse sa longueur normale, le courant de déri-

vation augmente d'intensité, ce qui diminue l'aimantation du noyau *a* et de l'équerre *d*. Cette désaimantation partielle permet au disque *e* de tourner et au porte-charbon positif de descendre.

Ces mouvements s'opèrent avec tant de précision que le disque en fer tourne constamment et que la lumière est d'une fixité absolue.

Régulateur Poege. — M. Poege, de Chemnitz, a combiné un régulateur dont nous représentons schématiquement le mécanisme (Fig. 193).

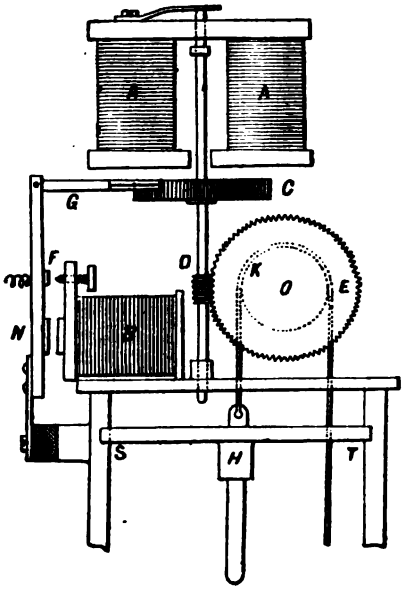


Fig. 193. — Mécanisme du régulateur Poege.

Cet appareil se compose d'un électro-aimant A, placé dans le circuit principal; d'une armature circulaire C en fer; d'un électro-aimant à fil fin B; d'une vis sans fin D; d'une roue dentée E; d'une poulie K et d'un rochet G.

L'électro-aimant A attire l'armature C dès que le courant passe dans le régulateur; la vis D, solidaire de l'armature, est soulevée et la roue E tourne un peu, ce qui produit l'écart des charbons.

L'électro B, son armature N et le contact F constituent un trembleur qui fonctionne dès que le courant de dérivation est assez grand, c'est-à-dire dès que l'arc dépasse sa longueur de régime. Ce trembleur, agissant sur le rochet G, fait tourner l'armature C dont le pourtour est convenablement denté; la vis D participe au mouvement de l'armature et le communique à la roue E. Le porte-charbon H, guidé par la traverse ST et suspendu par une corde enroulée sur la roue K, descend alors et rétablit l'écartement normal des pointes.

L'appareil est simple et très bien exécuté. Son fonctionnement ne laisse rien à désirer.

Régulateur Pilsen. — Ce régulateur est dû à la collaboration de MM. Piette et Krizik (Bohême). Il est basé sur ce fait que l'action exercée par un solénoïde sur un noyau en fer doux de forme conique reste constante dans toutes les positions relatives du solénoïde et de son armature pendant la moité de la course de la dite armature.

La figure 194 est un schéma indiquant les divers éléments dont se compose le régulateur Pilsen.

Les pièces principales sont : les noyaux en fer A B, ayant la forme de fusées allongées, renfermés dans deux tubes minces en laiton ; le solénoïde à gros fil C ; le solénoïde à double fil D ; l'électro intermittent E ; et la résistance R en maillechort.

Quand les charbons ne sont pas en contact et que le courant traverse le régulateur, il va de la borne positive au gros fil de l'électro D, passe par le contact F et la résistance R ; puis il rejoint la borne négative.

L'armature B est attirée, et, comme les deux porte-charbons sont reliés par une corde passant sur une poulie P, de diamètre égal à la distance des dits porte-charbons, ils s'avancent l'un vers l'autre, et les pointes se touchent immédiatement.

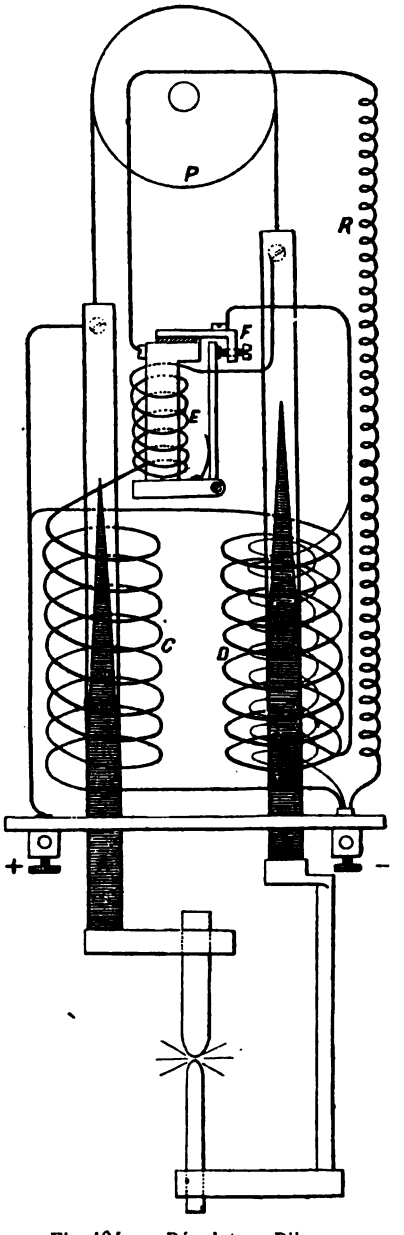


Fig. 194. — Régulateur Pilsen.

A ce moment, le courant traverse le solénoïde C et l'électro-aimant E; ce dernier attire son armature et rompt le contact F, de sorte que l'électro-aimant D n'a plus que sa garniture de fil fin en dérivation sur le circuit. L'armature A est attirée et l'écart se produit.

Quand le courant dérivé, qui traverse le fil fin du solénoïde D, devient assez intense, par suite de la longueur exagérée de l'arc, l'armature B est attirée et ramène l'écart des pointes à sa longueur normale.

Après usure complète des charbons, deux buttées convenablement disposées ramènent le courant dans le gros fil de l'électro-aimant D et dans la résistance. L'appareil est alors en court circuit et n'influence en rien la marche de ceux installés sur les mêmes conducteurs.

Le régulateur Pilsen possède ainsi deux puissants solénoïdes à action différentielle, lui assurant une grande sensibilité; il est très bien équilibré; sa construction est soignée; son point lumineux reste fixe lorsqu'on a soin d'employer des crayons plus gros au positif qu'au négatif. C'est, pour tout dire en un mot, un excellent instrument industriel.

Si nous avions une légère critique à formuler, elle porterait uniquement sur le mode de liaison entre les deux porte-crayons : nous n'aimons pas beaucoup les connexions à ficelle dans les appareils mécaniques.

Régulateur Zipernowsky. — Les figures 195 et 196 représentent le régulateur Zipernowsky, que construit la maison Ganz, de Pesth.

E est un solénoïde à fil fin recevant une dérivation du courant principal. L'armature en fer doux plonge presque entièrement dans l'intérieur du solénoïde, et elle est articulée à l'extrémité d'un cadre *m* oscillant en son milieu sur les tourillons des pièces d'appui M. A l'autre extrémité du cadre *m* sont placées deux lames verticales portant une série de rouages et reliées en bas par un deuxième cadre oscillant *n*. Le mouvement d'horlogerie est donc mobile; il participe au mouvement des tiges verticales du parallélogramme *m n*; mais sa roue principale engrène constamment avec la tige positive taillée en crémaillère. Un

ressort R, agissant du côté des rouages, contrebalance le poids

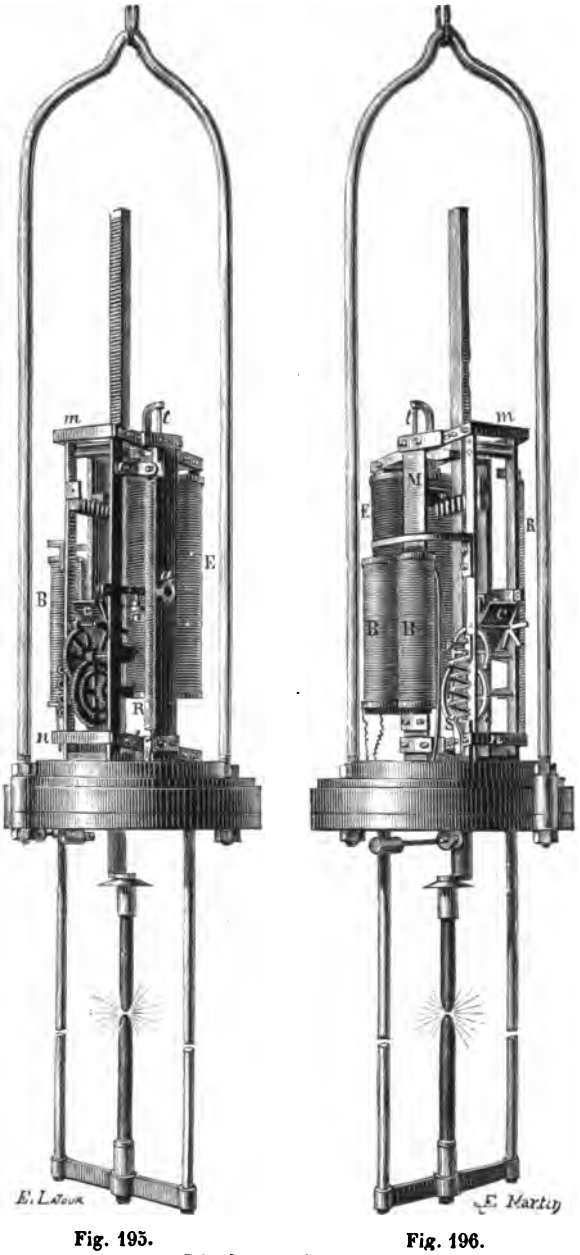


Fig. 195. Fig. 196.
Régulateur Zipernowsky.

du noyau en fer doux qui tend à relever l'ensemble desdits

rouages. Lorsque la lampe est inactive, le noyau maintient le mouvement dans sa position supérieure, et le levier *a* embraye l'étoile calée sur le volant à ailettes *c*; la crémaillère ne peut donc pas descendre et les charbons sont écartés. Quand le circuit est établi, le courant traverse le solénoïde, et le noyau, attiré de bas en haut, fait osciller tout le système opposé du parallélogramme et amène les charbons au contact. Au même moment, le courant devient faible dans le solénoïde, les rouages et la tige positive se relèvent un peu, et l'écart des pointes se produit.

Lorsque la longueur de l'arc devient trop grande, l'action du solénoïde augmente, l'attraction du noyau abaisse la partie *m n* du parallélogramme, le levier d'embrayage *a* rencontre une pièce fixe qui le soulève et dégage l'étoile. La tige positive descend alors jusqu'à ce que l'arc ait repris sa longueur de régime et que l'étoile soit embrayée de nouveau.

Quand les crayons sont presque complètement brûlés, l'arc s'interrompt et le courant se trouve lancé dans un électro-aimant B B en dérivation sur les charbons par l'intermédiaire d'un contact métallique formé entre le porte-crayon positif et une pièce spéciale fixée en bas de l'appareil. L'électro-aimant B B attire son armature, qui fait corps avec le parallélogramme oscillant; les rouages s'abaissent et appliquent le ressort S contre la base de la lampe. Ce contact donne naissance à un court circuit qui rend l'appareil indépendant des autres foyers alimentés par la même dynamo.

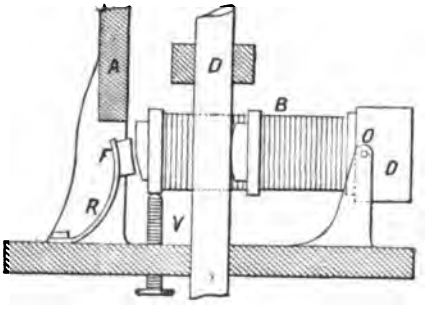


Fig. 197. — Mécanisme du régulateur Gülcher.

Afin d'enlever toute brusquerie aux mouvements du noyau en fer doux, l'inventeur a établi dans le noyau même un petit cylindre à air dont le piston est emmanché à l'extrémité de la tige fixe *t*.

Régulateur Gülcher. — Le mécanisme de la lampe Gülcher est représenté (Fig. 197). — Il se compose d'un électro-aimant B, à

branches inégales, dont les fils sont traversés par le courant qui produit l'arc. Cet électro-aimant oscille en O et repose sur la vis V; une culasse métallique D équilibre une partie de son poids. La tige du porte-charbon positif D est en fer; elle sert d'armature à la petite branche de l'électro-aimant. Une pièce fixe A, également en fer, constitue l'armature de la grande branche. Une petite armature supplémentaire F, maintenue par un ressort R, a pour unique fonction de modérer la vivacité du mouvement de l'électro-aimant lorsqu'il est attiré énergiquement par la pièce A.

Les deux charbons étant en contact et le courant lancé dans l'appareil, l'électro-aimant B oscille immédiatement sous l'influence de l'armature A. Dans ce mouvement, la tige D qui adhère à l'autre pôle de l'électro-aimant est soulevée, et l'arc jaillit.

L'intensité du courant diminuant au fur et à mesure que les crayons s'usent, l'électro-aimant retombe bientôt sur sa buttée V, et la tige D descend quand la force attractive est insuffisante pour contrebalancer son propre poids. La résistance de l'arc diminue, et la tige est de nouveau rendue immobile par l'électro-aimant dont la puissance a augmenté.

Des cordes convenablement disposées font monter le porte-charbon négatif pendant que le positif descend, de manière à maintenir le foyer lumineux à la même hauteur.

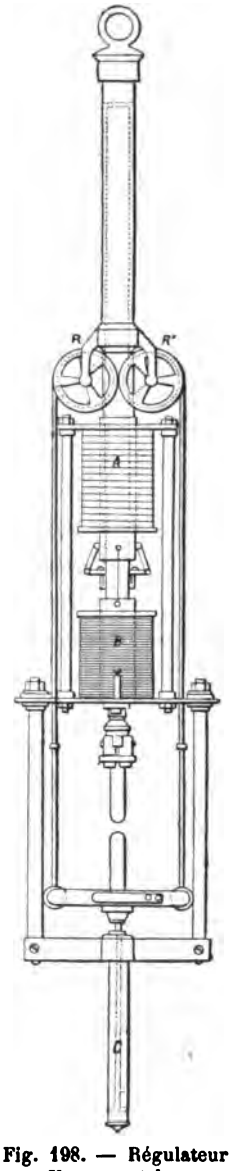


Fig. 198. — Régulateur Kremenestsky.

Les régulateurs Gülcher s'établissent en dérivation sur un courant de grande intensité, avec 65 volts de force électromotrice; ils sont d'une simplicité remarquable et d'un fonctionnement assez régulier. On ne

leur reproche que d'être un peu capricieux, ce qui est facile à comprendre, étant donnée l'absence d'amortisseur dans les mouvements de la tige.

Régulateur Kremenestsky. — L'appareil Kremenestsky se compose de deux solénoïdes A et B (Fig. 198) enroulés, le premier avec du gros fil, le second avec du fil fin très résistant ; de deux noyaux en fer doux réunis par deux leviers articulés en genouillères et exerçant une pression contre le porte-charbon positif quand le solénoïde A est prépondérant ; de deux tringles servant de guides au porte-charbon négatif, lequel est supporté par deux cordes venant s'enrouler sur les galets R R' ; et d'une pompe à air C, destinée à amortir la brusquerie des mouvements de ce porte-charbon.

Si la lampe est dans le circuit et si les charbons sont en contact, le solénoïde A attire son noyau et cale les leviers de la genouillère, ce qui élève le porte-charbon positif et donne naissance à l'arc. Quand l'écart des pointes augmente l'action du solénoïde B, le noyau inférieur est attiré, la genouillère se détend, la tige du crayon positif descend et fait monter en même temps la tige du crayon négatif; l'arc diminue ; le frein est de nouveau calé par l'influence de l'électro-aimant A, et ainsi de suite.

Cette lampe est moins régulière que celle de Pilsen, parce que l'équilibre entre les attractions des solénoïdes et des contrepoids n'est pas exactement réalisé dans toutes les positions des tiges.

APPAREILS DIVERS

Régulateur Lacassagne et Thiers. — L'appareil que nous représentons (Fig. 199) a été breveté en 1855. Il a servi dans de nombreuses expériences publiques de projections lumineuses à Paris et à Lyon, mais n'a pas reçu d'applications industrielles. Nous le décrivons parce qu'il est basé sur un principe différent de ceux dont nous avons parlé jusqu'ici et qu'il renferme un organe très ingénieux, employé depuis dans la plupart des régu-

lateurs à arc voltaïque : nous voulons parler de l'électro-aimant très résistant placé en dérivation sur le courant principal.

A, récipient en fer renfermant du mercure;

B, cylindre également en fer placé en contre-bas de A;

C, électro-aimant à gros fil;

D, électro-aimant à fin fil en dérivation;

E, double bobine de fil fin destinée à augmenter la résistance en la dérivation;

F, porte-charbon négatif mobile;

G, porte-charbon positif fixe;

H, tige fixe portant le récipient et la traverse supérieure du porte-charbon positif;

M, robinet livrant passage au mercure. A ce robinet est fixé un tuyau de caoutchouc qui se rend sous les électros et aboutit à une valve de communication laissant pénétrer le mercure dans le cylindre B;

K, vis permettant d'élever ou d'abaisser l'électro-aimant D;

S, robinet servant à vider le cylindre B.

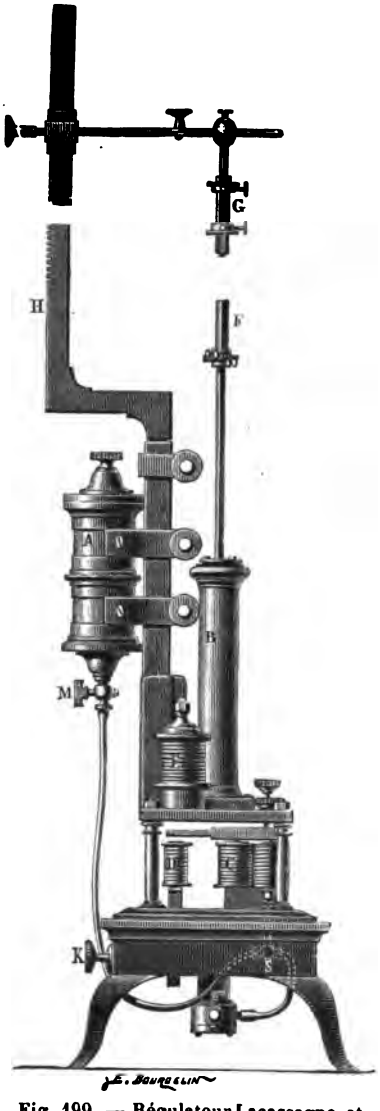


Fig. 199. — Régulateur Lacassagne et Thiers.

Une palette en fer servant d'armature est posée sur un couteau entre les électros C et D. Elle oscille d'un côté ou de l'autre suivant la grandeur des forces magnétiques et agit par l'intermédiaire d'un levier sur la valve de communication qui laisse entrer le mercure dans le cylindre B.

Quand C est prépondérant, la valve est fermée; quand, au

contraire, c'est D qui domine, la valve s'ouvre et donne passage au mercure qui soulève le piston placé dans le cylindre et rapprapproche les crayons.

Après quatre heures de marche, on remet le mercure dans le récipient supérieur et une nouvelle paire de crayons.

Nous avons vu fonctionner un appareil Lacassagne avec une pile, et nous pouvons affirmer que pas un régulateur moderne ne donne une lumière plus fixe. Sa sensibilité était telle que l'armature, au lieu de se mouvoir par une série de vibrations, avait pris presque instantanément une position fixe déterminée, qu'elle a conservée jusqu'à usure complète des crayons, en laissant passer continuellement un petit filet de mercure.

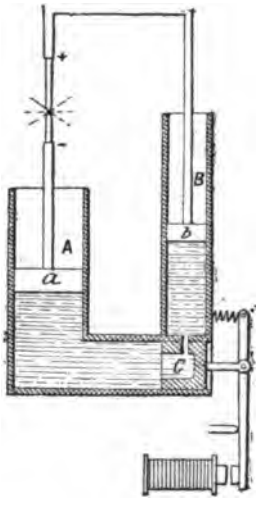


Fig. 200. — Régulateur Stocher-Sedlaczek.

Régulateur Stocher-Sedlaczek. — Ce régulateur est, comme le précédent, basé sur l'écoulement d'un liquide ; mais au lieu de mercure, il contient de la glycérine.

La figure 200 représente le schéma de cet appareil.

Les deux cylindres verticaux A et B sont en communication au moyen d'un troisième cylindre horizontal inférieur. Le piston *a* du cylindre A porte le charbon négatif, le piston *b* du cylindre B porte le charbon positif, le piston *c* du cylindre horizontal a pour fonction d'établir ou d'interrompre la communication entre les cylindres A et B.

Un électro-aimant, placé dans le circuit principal, attire son armature, et celle-ci donne le mouvement au piston *c*.

Un ressort antagoniste ramène l'armature en arrière quand l'électro-aimant perd une partie de sa force attractive.

A l'allumage, l'armature est attirée, et le piston *c* va de gauche à droite en fermant l'orifice de communication et en faisant baisser le piston *a*, ce qui produit l'arc.

Lorsque la résistance de l'arc grandit, le courant s'affaiblit, le ressort antagoniste éloigne l'armature, et le piston *c* va de

droite à gauche en ouvrant l'orifice de communication; la glycérine s'écoule de B en A, et les charbons se rapprochent.

Les diamètres des cylindres A et B sont calculés pour que le point lumineux reste fixe.

Le régulateur Sedlaczek est avantageusement employé sur les locomotives. Il ne s'éteint pas en marche, même dans les trains rapides, et sa lumière reste fixe malgré la grande trépidation des machines sur la voie ferrée.

Régulateur Leibold. — Dans cet appareil, le porte-charbon supérieur repose sur des réservoirs à air en cuir, montés en forme de soufflets d'accordéon. Un électro-aimant en dérivation, placé également sur la plaque mobile des réservoirs, ferme ou ouvre, par l'intermédiaire de son armature, un orifice laissant échapper l'air toutes les fois que la longueur de l'arc devient trop grande. Le porte-charbon inférieur possède un électro-aimant, intercalé dans le circuit principal, à l'aide duquel s'opère le recul des pointes lors de l'allumage.

La valve laissant échapper l'air des réservoirs est constituée par un tuyau de caoutchouc comprimé par une sorte de pince, exactement comme cela avait lieu dans le régulateur Lacassagne et Thiers.

Pour obtenir une bonne régularisation de l'arc, M. Leibold, imitant en cela M. Gramme, rend le fonctionnement de l'électro-aimant en dérivation intermittent. Grâce à cette précaution, l'appareil pneumatique doit donner une assez belle lumière; cependant l'emploi des réservoirs en cuir et de la valve en caoutchouc nous paraît peu recommandable. C'est fort curieux; cela doit bien marcher au début; mais, au bout d'un certain temps, des fuites doivent se manifester nécessairement et déranger tout le système. Si nous avions à choisir un appareil à écoulement, nous adopterions de préférence celui de Sedlaczek, à glycérine, en le réglant au moyen d'un électro de dérivation.

Régulateur primitif Thomson-Houston. — Lorsqu'un courant traverse une grande résistance et qu'il est brusquement interrompu, une étincelle d'extra-courant très éclatante se forme au

point de rupture. Cette étincelle apparaît même avec des courants insuffisants pour produire un arc de longueur appréciable.

MM. Thomson et Houston, mettant à profit ce phénomène, ont construit un appareil que nous représentons (Fig. 201) et dans lequel le charbon du bas est seul animé d'un rapide mouvement de va-et-vient.

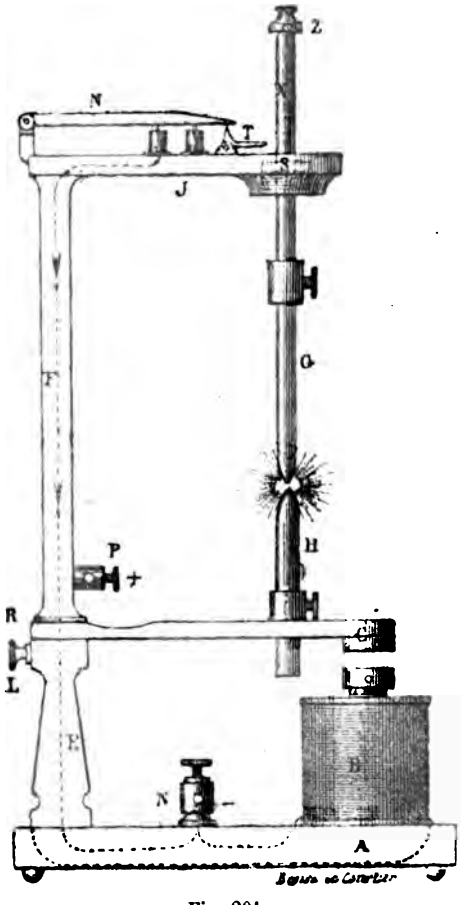


Fig. 201.
Régulateur primitif Thomson-Houston.

Les vibrations de ce charbon se succèdent si rapidement (25 ou 30 fois par seconde) que la lumière paraît continue.

Voici en quelques mots de quoi se compose l'appareil :

Sur un socle en bois A sont montés : un électro-aimant B, un support E et une borne N. Au support E est superposée la colonne F se terminant par une potence J. Entre les pièces E et F se trouvent placées une plaque d'isolation R et une barre élastique horizontale.

La barre élastique porte à son extrémité l'armature C de l'électro-aimant. Une borne P est attachée en bas de la colonne F.

Le courant arrive par la borne P, passe par la colonne F, la potence J, le crayon supérieur G, le crayon inférieur H, la barre élastique, le support E, l'électro-aimant B, et sort par la borne N. Un fil part de la borne N et va rejoindre une petite coupe placée sur la potence J, en traversant, sans les toucher, le support E, la lame flexible et la colonne F.

Lorsque les charbons se touchent, la puissance de l'électro-aimant atteint son maximum; l'armature C est attirée, et le circuit se trouvant brisé donne naissance à une étincelle d'extra-courant. L'électro-aimant perd sa force attractive, la lame élastique se relève, et, les charbons se touchant de nouveau, il se produit instantanément une nouvelle rupture, et ainsi de suite. Une vis L permet de régler l'amplitude des vibrations de la barre élastique.

Le charbon positif descend; mais, bien qu'il ne soit pas retenu par un contrepoids, sa descente n'est pas assez rapide pour empêcher les ruptures de courant. La tige en fer qui porte le charbon supérieur glisse à frottement doux dans la potence J. Dans le but d'obtenir un bon contact, les inventeurs ont eu l'idée d'établir dans la tête de la potence un évidement circulaire S et de le remplir en partie de mercure; le mercure, à la seule condition d'être pur, ne mouillant pas le métal, ne tend pas à s'échapper.

Pour éviter la rupture du courant quand les électrodes sont entièrement brûlées, un bouton Z termine la tige mobile et vient butter contre le levier T, qui permet alors à deux boutons en cuivre fixés au levier articulé N de plonger dans des petits godets pleins de mercure. L'un de ces godets est réuni au pôle positif et l'autre au pôle négatif de la source électrique. Par ce moyen, la lampe est retirée du circuit.

Régulateur Brockie. — Dans le même ordre d'idées, nous signalerons l'appareil de M. Brockie, dont le fonctionnement est assez régulier.

C'est bien une lampe à arc; mais l'écart des charbons n'est pas réglé par les changements produits dans l'intensité du courant. A certaines périodes déterminées, de minute en minute, par exemple, l'appareil rétablit un écart normal entre les charbons, écart qui reste le même (sous réserve de l'usure) pendant toute la minute jusqu'à un nouveau réajustement à la minute suivante. Pour cela, le charbon inférieur négatif est fixe; le charbon positif est attaché à un cylindre métallique vertical passant dans un anneau lié à l'armature d'un électro-aimant monté en dérivation dans le circuit. Lorsque le courant passe, l'armature est attirée, soulève l'anneau qui entraîne la tige du

charbon positif par coincement et maintient l'écart pour lequel l'appareil a été réglé.

Fig. 202. — Régulateur Rapieff.

Un petit appareil disjoncteur, placé dans le circuit de l'électro-aimant en dérivation, est mis en mouvement par le moteur de la machine et interrompt, chaque minute, pendant un intervalle de temps inappréciable, le courant qui traverse l'électro-aimant de dérivation. Cet électro-aimant étant rendu inactif à ce moment, le charbon positif devient libre et vient toucher le charbon négatif; puis, le courant est rétabli à travers l'électro-aimant; l'armature, soulevée de nouveau, entraîne la tige liée au charbon positif; l'écartement normal se trouve rétabli. Ce double mouvement s'opère si vite qu'on ne peut apercevoir aucun affaiblissement de la lumière, au moment où il se produit, à cause de la durée des impressions sur la rétine.

Régulateur Rapieff. — Cet appareil (Fig. 202) se compose de deux crayons supérieurs *a a'* formant entre eux un angle aigu dont le sommet est placé au pôle positif du foyer lumineux; de deux crayons inférieurs *b b'* disposés comme les premiers et ayant leurs pointes contiguës en opposition de celles *a a'*; de deux porte-crayons *d d'*; d'un contre-poids W; de deux supports S S'; d'une corde

h passant sur la poulie d'un support en arc *g*; et de plusieurs organes accessoires.

Les crayons sont emmanchés l'un après l'autre dans les pièces *d d'*. Ils sont préalablement taillés en biseau sur deux centimètres de longueur environ, pour former une pointe assez fine à leur jonction. Leur position oblique est assurée par des galets en cuivre qui servent en même temps de contacts entre les crayons et les organes métalliques de la lampe, de telle sorte que, quelle que soit la longueur des crayons, il n'y en ait qu'une faible partie comprise dans le circuit de l'arc voltaïque.

Quatre cordes sont attachées, d'une part, aux extrémités libres des quatre crayons, et, d'autre part, au contre-poids W, par l'intermédiaire de plusieurs douilles et de plusieurs poulies de renvoi. Le contre-poids W a pour objet de ramener sans cesse les deux groupes de crayons au contact. Un électro-aimant, situé dans le socle de la lampe, agit sur une tringle passant par l'intérieur du support S, pour écarter de quelques millimètres les porte-crayons *d d'* dès que le courant traverse l'appareil.

Une vis placée entre la corde *h* et la poulie *f* permet de régler à volonté la hauteur du point lumineux.

Il est facile de comprendre que, lorsque les charbons s'usent, ils tendent à se séparer, puisque leur contact se consume et que, devenus libres, ils obéissent à l'action motrice du contrepoids et s'élèvent; mais l'un des crayons arrête l'autre et réciproquement, et, grâce aux galets qui les maintiennent dans une position oblique invariable, leurs pointes ne changent jamais de place. Ce qui a lieu pour les crayons du bas a également lieu pour ceux du haut, et les deux actions sont indépendantes l'une de l'autre, c'est-à-dire que les crayons du bas peuvent se consumer beaucoup plus vite que ceux du haut sans que les positions réelles des pointes changent dans l'espace et sans, par conséquent, que la longueur de l'arc voltaïque varie.

La lampe Rapieff peut fonctionner indifféremment avec des courants continus ou avec des courants alternatifs, et elle se rallume d'elle-même en cas d'extinction.

Régulateur Hedges. — M. Killingworth Hedges a étudié un

régulateur analogue au précédent, mais de construction beaucoup plus simple.

Toutes les poulies, les cordes et les contrepoids sont supprimés. Les charbons descendent par leur propre poids. A cet effet, ils sont inclinés la pointe en bas à 45 degrés de la verticale, et forment entre eux, par conséquent, un angle droit.

La pointe du charbon négatif est retenue par une petite buttée en platine qui l'oblige à conserver constamment la même position dans l'espace; la pointe du charbon positif est retenue en face de la première au moyen d'un troisième charbon plus petit qui se consume dans l'arc au fur et à mesure de la descente du charbon principal.

Au repos, les trois charbons se touchent.

Le recul est obtenu à l'aide d'un électro-aimant qui éloigne le charbon négatif et forme l'arc.

Régulateur Solignac. — Parmi les régulateurs à rapprochement indépendant de la résistance de l'arc, nous devons signaler l'ingénieux appareil de M. Solignac représenté (Fig. 203).

Dans cet appareil les crayons tendent toujours à se rapprocher l'un vers l'autre sous l'influence de barillets agissant sur deux petites chaînettes. Une petite baguette de verre placée en dessous est réunie à chaque crayon dans toute sa longueur. Les extrémités de ces crayons, près des pointes, sont maintenues fixes au moyen de galets en nickel et de supports inférieurs sur lesquels les baguettes en verre viennent reposer.

Au début, on approche les deux parties de la lampe au moyen d'une vis, puis on les remet à leur place normale pour donner naissance à l'arc. Au fur et à mesure que les crayons se consument, la chaleur ramollit les tiges de verre qui se replient en spirales en dessous de leurs arrêts, et permet aux pointes de se rapprocher.

Rien de plus simple en apparence et de plus difficile à réaliser industriellement.

Régulateurs à moteurs électriques. — Nous représentons, page 361, six appareils qui sont tous caractérisés par l'emploi d'un

moteur électrique pour la formation de l'arc et son maintien à une longueur déterminée. Voici quelques renseignements sommaires sur ces appareils.

Régulateur Tchikoleff. — Les appareils Tchikoleff ont pour moteur une petite machine Gramme agissant sur une vis, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une série de rouages.

La figure 204 représente une des premières dispositions adoptées par l'inventeur.

Une bobine Gramme à axe vertical tourne entre les pôles d'un électro-aimant différentiel. La vis est filetée de droite à gauche dans sa partie supérieure et de gauche à droite dans sa partie inférieure. Les porte-charbons sont fixés à des écrous se déplaçant simultanément lorsque la vis tourne. Quand l'influence

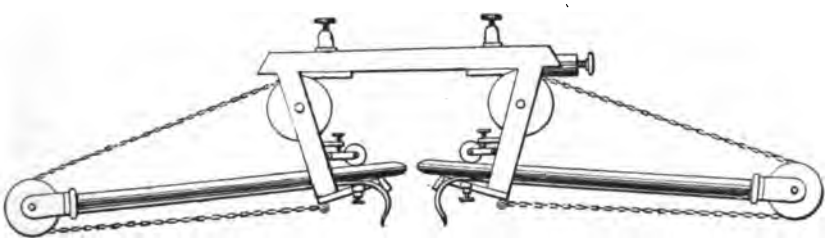


Fig. 203. — Régulateur Solignac.

du courant principal domine, comme cela a lieu à l'allumage, la bobine tourne, et la vis éloigne les deux porte-charbons. Quand c'est l'influence du courant dérivé qui est prépondérante, la bobine et la vis tournent en sens inverse et opèrent le rapprochement des pointes.

Dans les lampes destinées aux opérations militaires, M. Tchikoleff se sert d'une bobine Siemens très allongée communiquant le mouvement à la vis au moyen de rouages. Cette lampe peut être manœuvrée à la main, lorsqu'on interrompt la liaison entre la vis et la bobine, ce qui se fait très aisément, à l'aide d'une clé de bifurcation.

Régulateur Gray. — Comme le précédent, l'appareil combiné par M. Gray (Fig. 205) a pour organe principal une dynamo Gramme. Les inducteurs de cette dynamo sont disposés pour recevoir le courant principal et une dérivation, sous grande rési-

stance, de ce courant. Ces deux courants exercent leur influence en sens inverse l'un de l'autre, et c'est cette action différentielle qui opère l'écart des pointes et maintient l'arc à une longueur constante.

Les porte-charbons, supportés au moyen de cordes, se meuvent proportionnellement à l'usure, de sorte que le point lumineux reste fixe pendant toute la durée des crayons.

L'anneau en fer de l'induit est creux et possède quatre cloisons étanches qui contiennent une certaine quantité de mercure. Ce mercure a pour effet d'éviter les mouvements brusques dans l'ensemble des organes mobiles.

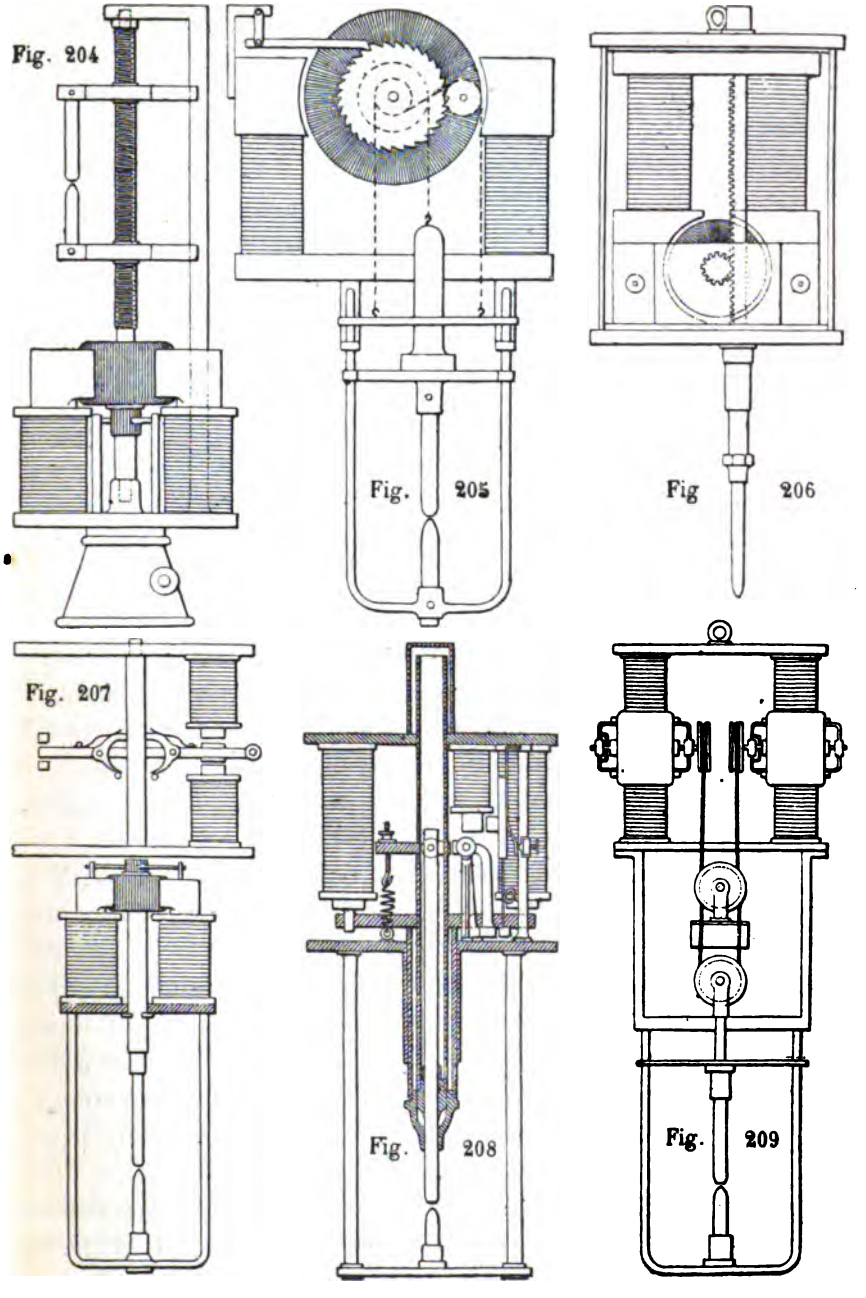
Un cliquet à suspension permet un faible recul de la roue à rochet pour la formation de l'arc et empêche la bobine de tourner en sens inverse pendant la marche normale.

Régulateur-dynamo Breguet. — La maison Breguet construit également des régulateurs (Fig. 206) ayant pour moteur une petite machine Gramme, analogue à la précédente, mais dont la construction est plus simple et mieux étudiée.

Sur l'arbre de l'anneau est monté un pignon qui engrène avec le porte-charbon supérieur dont la tige est taillée en crémaillère. Le porte-charbon inférieur est fixe. Le porte-charbon supérieur tend à faire tourner la bobine dans un sens, et le courant électrique, qui traverse les électros, tend à la faire tourner en sens inverse. On obtient ainsi une position d'équilibre entre le poids de la tige et l'effort statique développé dans l'anneau, pour un arc d'une longueur déterminée.

Le réglage de l'arc, suivant le courant employé, est très ingénieusement obtenu par une masse de fer qu'on approche plus ou moins des pièces polaires, ce qui modifie l'intensité du champ magnétique et, par suite, l'effort statique développé par la bobine. Le porte-charbon supérieur est assez lourd pour que l'influence du poids variable du crayon se fasse très peu sentir. Son seul effet est d'ailleurs d'augmenter insensiblement la longueur de l'arc, vers la fin de la course.

Régulateur Edison. — Parmi les régulateurs proposés par M. Édison, nous mentionnerons un appareil dans lequel une petite



Régulateurs à moteurs électriques, Tchikoleff, Gray, Breguet, Edison, Létang, Asheroldt.

machine Gramme fait tourner l'un des porte-crayons à raison de 2 000 à 3 000 tours par minute.

Un double électro-aimant différentiel (Fig. 207) agit sur un petit frein pour faire descendre le charbon supérieur en proportion de l'usure des pointes.

La rotation d'un des crayons a pour but de donner à l'éclairage une grande régularité. Ce but est atteint en Europe par l'excellente fabrication des charbons à lumière, sans aucune complication dans les régulateurs; mais M. Edison se doit à sa réputation d'inventeur original.

Régulateur Asheroldt. — Cet appareil, du genre Tchikoleff, possède deux dynamos au lieu d'une (Fig. 209). Le porte-charbon positif est suspendu au moyen d'une corde sans fin qui s'enroule sur les deux poulies des dynamos et sur une troisième poulie à contrepoids. Les deux dynamos tournent constamment, l'une sous l'influence du courant principal, l'autre par une dérivation de ce courant.

La disposition de la suspension est telle que les pointes s'éloignent quand la dynamo placée dans le circuit va plus rapidement que l'autre, et que les pointes se rapprochent quand c'est la dynamo en dérivation qui a la plus grande vitesse.

Régulateur Létang. — Dans cet appareil (Fig. 208), l'organe régulateur n'est pas une dynamo, mais un électro-moteur à vibration, dans le genre de celui de la maison Siemens (Fig. 187).

Le schéma (Fig. 210) et l'explication suivante feront comprendre le fonctionnement de l'appareil combiné par M. Létang.

Un électro-aimant FF′ traversé par le courant principal attire une armature en fer doux K fixée à l'extrémité du levier LL′ et retenue par le ressort G. Ce levier soulève un tube A fixé à son autre extrémité et portant à sa partie inférieure un cône C. A travers ce cône passe librement une tige de charbon D qui tombe sur le charbon T fixé dans l'étau V.

Un second levier PP, articulé en *p* et sollicité par le ressort R, porte à son extrémité de gauche deux ressorts EE munis de deux sabots *ee*. Au moment où le tube A est soulevé par l'action de l'électro-aimant FF′, les sabots coincent la tige de charbon D et la soulèvent en produisant l'arc.

L'allongement de l'arc X, provenant de l'usure des charbons, est compensé par l'électro à vibration JJ', lequel est traversé par une dérivation du courant principal. L'intensité du courant dérivé augmentant avec la longueur de l'arc, l'armature IH oscille dès que l'attraction est suffisante. Le marteau H vient alors frapper sur l'extrémité du levier PP, et le charbon descend. Le courant passe dans l'électro JJ' par le contact Z que les mouvements de l'armature établissent et rompent alternativement. De là, l'action vibratoire qui est d'autant plus énergique que l'écart des pointes

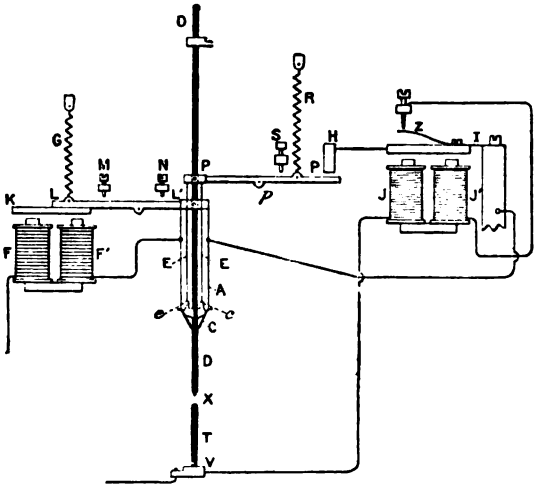


Fig. 210. — Schéma théorique du régulateur Létang.

dépasse davantage la longueur de régime de l'arc, et qui devient nulle lorsque cette longueur est normale.

Les buttées M, N et S limitent l'amplitude des mouvements des leviers LL et PP.

Régulateur Street et Maquaire. — Cet appareil, qui fonctionne avec des courants alternatifs, a pour moteur un trembleur électrique. Ce trembleur agit sur des disques horizontaux commandant une vis filetée à deux pas opposés.

Sur chacune des moitiés de la vis se trouve un écrou faisant corps avec l'un des porte-charbons ; de sorte que, lorsque la vis tourne dans un sens, les pointes s'éloignent et, lorsqu'elle tourne en

sens opposé, les pointes se rapprochent. Ce qui distingue surtout cette lampe de celle de M. Tchikoleff, c'est le moteur : les inventeurs ont mis à profit les vibrations produites par un électro-aimant traversé par un courant alternatif sur une armature à ressort; et, pour communiquer ces mouvements vibratoires à un arbre vertical, ils ont mis sur cet arbre des disques en fer doux commandés, de chaque côté d'un même diamètre, par des petites tiges également en fer doux, participant aux tremblements des armatures. Deux électro-aimants, l'un dans le circuit principal, l'autre sur une dérivation, influencent les armatures. Les disques, aimantés et désaimantés à chaque vibration par les tiges, se meuvent dans le sens des plus fortes vibrations, de manière à éloigner les pointes quand le courant principal est à son maximum, et à les éloigner quand le courant de dérivation dépasse une intensité donnée.

Les inventeurs annexent à leur lampe un dispositif ayant pour effet de la mettre en court-circuit lorsque les charbons sont entièrement consumés, et d'empêcher un trouble dans le mécanisme si la lampe vient à s'éteindre par accident. Ce dispositif peut être placé soit dans l'appareil, soit en dehors à une distance quelconque.

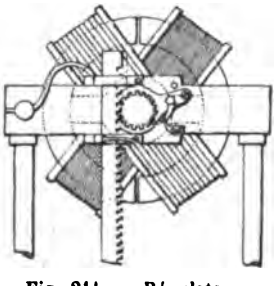


Fig. 211. — Régulateur Schneider.

Régulateur Schneider. — Le mécanisme du régulateur imaginé par M. Schneider (Fig. 211) se compose en principe d'une crémaillère embrayant avec un pignon retenu par un rochet à cliquet. Sur l'axe du rochet sont montés deux solénoïdes circulaires dont l'un reçoit le courant principal et l'autre une dérivation de ce courant. Ces solénoïdes agissent sur deux armatures demi-circulaires, à pôles de même nom opposés. Les variations de puissance des solénoïdes, provenant des variations dans la longueur de l'arc, font tourner les armatures, lesquelles désembrayent le cliquet qui retient le porte-charbon supérieur et entretiennent un écart normal entre les pointes.

Régulateur Menges. — Cet appareil (Fig. 212) possède un solénoïde garni de gros fil A et de fil fin B et traversé par un électro-aimant N remplissant le rôle d'armature. Les charbons sont maintenus par des cordes enroulées sur les roues *g* et *f*. Un cylindre à air *d* empêche les mouvements brusques des porte charbons.

Les deux circuits du solénoïde sont calculés de manière à équilibrer les tiges avec une longueur d'arc déterminée. Lorsque cette longueur varie, l'électro-aimant SN monte ou descend, suivant que les pointes sont plus ou moins éloignées, et les ramène sans cesse à leur écart normal.

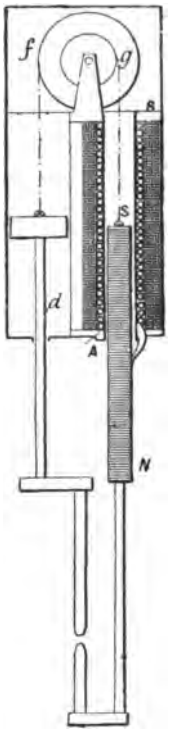


Fig. 212. —Régulateur Menges.

Régulateur Hawkes. — Dans cet appareil, le recul est opéré au moyen d'un électro-aimant à gros fil placé à la partie supérieure de la lampe et agissant sur une armature reliée au porte-crayon positif. La tige du bas qui porte le crayon négatif est mobile; deux contrepoids tendent à l'élever constamment, et un cylindre à glycérine, placé à son extrémité inférieure, en amortit les brusques mouvements. Un électro-aimant de dérivation, fixé entre deux plateaux circulaires, au dessous du foyer lumineux, agit sur une armature et une douille de coincement pour régler le mouvement ascensionnel de la tige négative de manière à compenser l'usure des pointes.

Un coupe-circuit met la lampe hors d'action, dès qu'une résistance anormale, l'usure totale des crayons, la rupture de l'un d'eux ou toute autre cause accidentelle, vient éteindre l'arc ou dérégler seulement sa longueur de régime.

Régulateur Carré. — Ce qui caractérise le régulateur Carré, c'est l'emploi d'un double solénoïde en arc traversé par une armature en S. La tige positive sert de moteur et agit sur une série de rouages dont le dernier mobile est embrayé au moyen

d'une petite lame reliée à un levier oscillant. L'enroulement du fil sur le solénoïde est fait de telle sorte que les actions des bobines s'ajoutent et entraînent dans le même sens l'armature en S et le levier oscillant calés sur le même arbre.

Régulateur Regnard. — Le régulateur Regnard a ses crayons filetés sur toute leur longueur. Un barillet à ressort actionne deux écrous recevant les crayons et engrenant extérieurement avec une série de rouages modérateurs. Les contacts électriques, comme dans le régulateur de Mersanne, se trouvent très près du point lumineux, de manière à laisser la résistance des crayons constante, quelle que soit leur longueur. Un désembrayage ordinaire, à électro-aimant en dérivation, règle le mouvement d'avancement des crayons et complète le système. Le façonnage des crayons en hélice coûte extrêmement bon marché, de sorte que le prix de l'éclairage est peu augmenté de ce chef.

Régulateur Girouard. — Le régulateur combiné par M. Girouard est composé de deux parties distinctes : 1° une lampe avec mouvement d'horlogerie pour le rapprochement et l'écartement des crayons ; 2° un appareil régulateur en forme de relais pouvant être placé loin de la lampe et fonctionnant au moyen d'une petite pile à sulfate de mercure.

La lampe contient deux mouvements d'horlogerie, commandés par un barillet unique. Le dernier mobile de chacun de ces mouvements est embrayé par une détente dépendant d'un système électro-magnétique particulier, qui correspond électriquement aux deux petits contacts du relais.

Cet appareil peut fonctionner dans toutes les positions. Il a été breveté en 1876.

Régulateur Maxim. — Appareil à électro dans le circuit, à tige positive motrice, et à rouages amortisseurs. L'électro-aimant a deux armatures : l'une reliée au porte-charbon négatif et servant à produire l'écart des pointes dès que le circuit est fermé ; l'autre actionnant un levier coudé terminé par une petite lame d'embrayage pour régler la longueur de l'arc. Le caractère particulier

du régulateur Maxim réside dans l'addition d'un deuxième embrayage à volant à ailettes terminant la série des rouages, qui le force à s'arrêter après chaque quart de tour, avant de reprendre sa course. Ce dispositif remplit le même office, mais d'une manière moins précise cependant, que l'électro-aimant du régulateur Gramme.

Régulateur Dubos. — M. Dubos a exposé à Paris, en 1875, un régulateur à solénoïde très simple, mais ne renfermant aucun organe pour compenser l'influence variable de l'attraction magnétique. L'appareil était équilibré au moyen de grenaille de plomb, et il fonctionnait assez bien parce que le solénoïde était très long par rapport à la course des crayons, ce qui régularisait, dans une certaine mesure, les écarts dans la grandeur de l'arc.

Régulateur Marcus. — Appareil à long solénoïde, genre Jaspar, dans lequel il n'existe pas de variation de puissance, parce que les spires constituant le solénoïde sont divisées par tranches et que, grâce à un petit mécanisme, le courant ne traverse qu'un nombre déterminé de ces spires. Au fur et à mesure que le porte-crayon inférieur descend et que, par suite, l'armature pénètre davantage dans la bobine, le nombre des spires en action change de manière à rendre constante l'attraction de la dite armature.

Cette solution est très ingénieuse; mais elle est moins simple et moins sûre que celle de MM. Piette et Krizik; aussi n'a-t-elle pas eu beaucoup d'applications industrielles.

Régulateur Dion. — Dans cet appareil, les charbons placés horizontalement sont poussés l'un contre l'autre par deux ressorts à boudin. Un solénoïde produit le recul au moment de l'allumage. Les baguettes de charbon viennent butter contre des pointes recourbées en platine ou en cuivre qui les empêchent de se toucher pendant la marche. Pour que ces pointes métalliques ne se brûlent pas rapidement sous l'action de la température très élevée de l'arc, l'inventeur les a simplement isolées et ne les a pas fait traverser par le courant.

Régulateur Berjot. — Le mécanisme de ce régulateur se compose de deux électro-aimants, d'une tige motrice taillée en crémaillère, et d'une cage métallique renfermant une série de rouages, suspendue par quatre lames flexibles formant parallélogramme. Un des électros produit le recul en soulevant l'ensemble de la cage et la tige supérieure ; l'autre, en agissant sur un frein, tend à laisser défiler les rouages. Le premier est dans le circuit principal ; le second est placé en dérivation. Quand la crémaillère est arrivée à la fin de sa course, le foyer s'éteint et l'appareil introduit automatiquement dans le circuit une résistance égale à celle de l'arc.

Régulateur Jurgensen. — M. Jurgensen a combiné un régulateur qui figurait dans la section danoise de l'Exposition de 1881 et qui fonctionnait régulièrement. Ce régulateur possède deux solénoïdes placés parallèlement; leurs noyaux en fer sont solidaires des porte-charbons. Un des solénoïdes est garni de gros fil et sert à opérer le recul pour la formation de l'arc; l'autre a deux garnitures, l'une de gros fil et l'autre de fil fin. La garniture en gros fil de ce deuxième solénoïde n'est dans le circuit principal que lorsque les charbons ne se touchent pas; elle a pour effet d'augmenter l'influence du poids de la tige positive et d'amener les charbons au contact. Au moment où les pointes se touchent, le courant passe par les crayons, par le premier solénoïde et par un petit électro auxiliaire qui, en attirant son armature, rompt la communication du courant avec le gros fil du deuxième solénoïde. Le circuit se trouve alors divisé en deux branches : la branche principale qui, en traversant le premier solénoïde, éloigne les pointes, et la branche secondaire qui traverse le fil fin du deuxième solénoïde. Le rapprochement des charbons s'effectue par l'action différentielle de ces deux solénoïdes.

Les tiges positive et négative, placées dans le prolongement des noyaux en fer doux, sont taillées en crémaillères; elles engrènent avec deux roues de diamètres différents, calées sur le même axe. Un ressort spiral, qu'on règle suivant la longueur normale de l'arc, tend à s'opposer au mouvement des roues;

l'influence de ce ressort, variable avec la position des charbons, compense assez exactement les différences des actions exercées par les solénoïdes sur leurs noyaux, au fur et à mesure qu'augmente la pénétration de ceux-ci.

Régulateur Mornat. — L'appareil combiné par M. Mornat, et dont nous avons remarqué quelques exemplaires à l'Exposition des sciences appliquées à l'industrie, en 1886, est caractérisé par l'emploi d'une came sphérique faisant corps avec le noyau d'un solénoïde et ayant pour but d'embrayer ou de désembrayer un frein.

Le porte-charbon supérieur sert de moteur; il est maintenu par la pression de deux galets placés aux extrémités des branches horizontales de deux équerres disposées symétriquement et articulées comme dans les mouvements de sonnettes. Les extrémités verticales des équerres sont également pourvues de galets qui reposent sur la came sphérique.

Au début, le solénoïde attire son armature; les galets pressent contre la tige et la soulèvent; l'écart des pointes donne naissance à l'arc voltaïque.

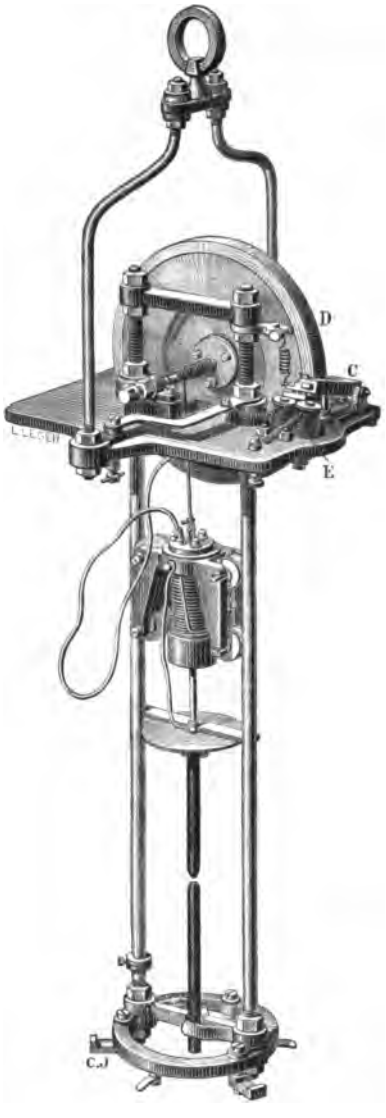


Fig. 213. — Régulateur Abdank.

Quand le courant s'affaiblit par suite du grand écart des pointes, l'armature descend, une des paires de galets se rapproche sur la calotte sphérique et l'autre paire s'éloigne, laissant

descendre la tige qui porte le crayon positif. Ce régulateur est très simple. Il fonctionne assez bien.

Régulateur Abdank-Abakanowicz. — Le régulateur de M. Abdank-Abakanowicz se compose, comme celui de M. Girouard, de deux appareils distincts : l'un comprenant la lampe proprement dite, garnie de ses crayons; l'autre constitué par une sorte de relais placé à portée de la main.

La lampe est représentée (Fig. 213). Son crayon supérieur est suspendu au moyen d'une corde enroulée sur l'arbre d'un volant D, tournant facilement sur des pointes, mais tenu ordinairement immobile au moyen d'un frein C. Ce frein fait corps avec l'armature d'un électro-aimant E, placé en dérivation sur le courant principal. Dès que l'écart des charbons dépasse la limite fixée d'avance, le relais envoie le courant dans cet électro-aimant, mais seulement pendant une fraction de seconde; l'armature C dégage le volant qui tourne sous l'action du poids du chariot et rétablit l'écart normal. La masse du volant étant relativement considérable, l'accélération au début est très faible, et, comme le courant est de nouveau interrompu dans l'électro-aimant E, le frein annule immédiatement la puissance vive de ce volant. Si un premier mouvement n'a pas suffi au réglage, il s'en produit un second, puis un troisième. De fait, le volant tourne sans cesse, par une série de petits à-coups, et les crayons se rapprochent continuellement lorsque le relais est bien établi.

Le volant remplace ainsi le mouvement d'horlogerie qu'on retrouve dans beaucoup de régulateurs. C'est un amortisseur très sûr et très simple.

Le chariot, auquel est attaché le porte-crayon supérieur, renferme un petit électro-aimant et une armature à coinçage, à l'aide desquels s'opère le recul du crayon pour la formation de l'arc.

Le relais qui, comme nous l'avons dit, est placé en dehors de la lampe est formé : 1° d'un électro-aimant différentiel dont l'armature soulève un levier, lequel, par un agencement spécial, force le courant à traverser l'électro-aimant E de la lampe, lorsque l'usure des pointes se produit; 2° d'un solénoïde à fil fin

et d'un pont métallique à mercure, destinés à mettre automatiquement la lampe hors du circuit en cas d'accident; 3° d'un commutateur permettant d'intercaler dans le circuit une résistance égale à celle de l'arc voltaïque, quand on veut supprimer temporairement une des lampes du circuit.

Bien qu'il soit peu employé dans l'industrie, le régulateur Abdank-Abakanowicz est un des plus ingénieux que nous connaissions; nous l'avons vu fonctionner dans d'excellentes conditions, à Vienne, lors de l'Exposition de 1883.

Régulateur Dornfeld. — M. Dornfeld, électricien aux aciéries d'Essen, a combiné un régulateur dans lequel la série des engrenages ralentissant la descente du porte-charbon supérieur, est remplacée par une seule paire de roues dentées et un volant à ailettes tournant dans un bain de mercure.

Une roue de friction, analogue à celle de l'ancien régulateur Gramme, et un sabot de contact agencés avec un puissant solénoïde que traverse le courant principal, servent à écarter les crayons au début de la marche et à les rapprocher lorsque l'arc dépasse sa longueur normale.

L'appareil Dornfeld n'est pas compliqué; il fonctionne assez bien et donne lieu à peu d'extinctions. Mais l'emploi du mercure pour remplacer quelques roues d'un extrême bon marché, nous paraît un véritable non-sens. Le mercure s'évapore à toute température, il rend les régulateurs peu transportables et occasionne des irrégularités chaque fois que la roue à ailettes ne baigne que partiellement dans son bain. L'usage du mercure devrait être réservé aux instruments qui ont besoin d'avoir de très bons contacts électriques, difficiles à obtenir avec des pièces rigides.

Régulateur Fesquet et Ostrorog. — Dans ce régulateur, les mécanismes d'avancement et de réglage sont respectivement suspendus, comme les plateaux d'une balance, aux deux extrémités d'un fléau oscillant sur un couteau qui repose sur deux chapes ménagées dans deux piliers, montés eux-mêmes sur la plaque de fondation de la lampe.

Le mécanisme d'avancement se compose des pièces sui-

vantes : le porte-charbon supérieur terminé en haut par une crémaillère; un pignon qui engrène avec cette crémaillère et est monté sur l'axe de la poulie d'un frein; et le frein en question, dont la poulie, d'un diamètre relativement grand, est munie d'une roue à rochet et d'un cliquet; il est formé d'une bande de métal ou de toute autre substance et embrasse la circonférence de sa poulie. L'une des extrémités du frein est fixe; l'autre est reliée au petit bras d'un levier oscillant, recourbé à angle droit, et dont le grand bras est chargé d'un contrepoids. Ce contrepoids fait agir le frein et empêche, en conséquence, le charbon supérieur de descendre tant que le grand bras du levier coudé n'arrive pas à toucher une vis de buttée placée dans son voisinage; mais, dès que le grand bras vient au contact de cette vis, le poids de ce bras est soulagé, le levier coudé oscille, et son petit bras relâche le frein, dont la poulie et le pignon sont alors libres de tourner sous l'action du poids du porte-charbon supérieur et de sa crémaillère.

Le mécanisme de réglage se compose de noyaux de fer doux suspendus à l'extrémité de l'autre bras du fléau, qui forme fourchette pour les recevoir. L'un de ces noyaux plonge dans un solénoïde de gros fil dont les spires sont traversées par le courant du circuit principal et qui est disposé de telle façon que l'attraction magnétique du courant s'exerce sur lui de haut en bas. L'autre noyau plonge dans un solénoïde en fil fin, monté en dérivation sur les deux bornes de la lampe, et roulé de manière à exercer une attraction magnétique sur ce noyau de bas en haut, sous l'action du courant.

Le poids du mécanisme d'avancement étant supérieur à celui du mécanisme de réglage, quand la lampe ne fonctionne pas, le levier porte-frein repose sur la vis de buttée, et, le frein étant alors desserré, le charbon supérieur vient toucher le charbon inférieur.

Quand on envoie le courant dans la lampe, la majeure partie de ce courant passe dans la bobine de gros fil qui, en exerçant son action magnétique attractive sur son noyau de haut en bas, entraîne et soulève tout le système d'avancement; le levier porte-frein quitte la vis de buttée et serre le frein, de sorte que la cré-

maillère du porte-charbon supérieur est soulevée avec tout le système, et l'arc est établi.

A mesure que les pointes de charbon s'usent, la résistance de l'arc augmente; il passe plus de courant dans la bobine à fil fin et moins dans celle à gros fil. Les deux noyaux de fer doux sont alors attirés en sens contraires, et, tant que l'attraction, vers le haut, du solénoïde à fil fin sur son noyau n'a pas assez surpassé l'attraction, vers le bas, du solénoïde à gros fil sur son noyau. pour que le grand bras du levier coudé vienne en contact avec la vis de buttée, la fourchette du fléau oscillant n'est pas dégagée; mais, dès que ce point est atteint, le mécanisme d'avancement entraîne le mécanisme de réglage, et le frein relâché permet à la crémaillère du porte-charbon supérieur de descendre.

L'écartement des pointes de charbon diminue ainsi et, dès qu'un excès de courant passe de nouveau dans la bobine de gros fil, l'équilibre se rétablit en faveur du noyau; le système d'avancement se trouve soulevé et le frein est de nouveau appliqué.

Régulateur Jamar-Chabot. — Dans cet appareil, l'écartement des pointes, au début de la marche, est obtenu à l'aide d'un électro-aimant qui fait baisser le porte-charbon inférieur. Le rapprochemont des pointes est dû à un électro-moteur formé de deux électro-aimants juxtaposés et ayant une armature commune. Un des électros est toujours placé en dérivation lorsque l'armature atteint la limite de sa course ascendante, et il est retiré complètement du circuit aussitôt que l'armature quitte cette position. L'armature est ainsi douée d'un mouvement alternatif qui persiste pendant toute la durée des crayons. Ce mouvement, qui est d'autant plus rapide que les pointes s'usent plus vite, est communiqué au porte-charbon supérieur par une roue à rochet, une vis sans fin et une crémaillère.

Régulateur Lahmeyer. — M. Lahmeyer a eu l'idée d'opérer le rapprochement des charbons à l'aide d'un voltamètre (Fig. 214). Cette disposition est peu pratique; mais elle est tellement différente de toutes celles qui précèdent, que nous croyons devoir la

signaler à titre de simple curiosité. Le dégagement des gaz dans l'eau acidulée est proportionnel à l'intensité du courant qui traverse un voltamètre à double chambre; celui-ci est placé sur une dérivation du courant principal, de sorte qu'il y a un dégagement nul lorsque les pointes des charbons sont éloignées l'une de l'autre, et un dégagement presque nul lorsqu'elles se touchent. L'écart se fait à la main, et le rapprochement a lieu quand les pistons plongeurs attachés aux tiges s'élèvent par suite de la pression exercée par l'oxygène et l'hydrogène, qui occupent la partie supérieure des deux chambres du voltamètre et refoulent l'eau acidulée dans deux cylindres convenablement disposés.

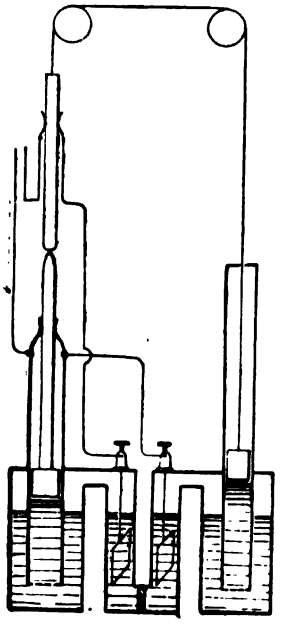


Fig. 214. — Régulateur Lahmeyer.

Dates de l'invention des principaux organes des régulateurs. — L'importance déjà exceptionnelle que nous avons donnée au présent chapitre ne nous a pas permis de publier une notice détaillée sur l'historique des régulateurs. Quelques dates et quelques noms suffiront d'ailleurs pour rendre justice aux chercheurs qui ont précédé nos inventeurs modernes dans cette spécialité.

1844. — Léon Foucault remplace les crayons en charbon ordinaire par des crayons en charbon de cornue.

1845. — Thomas Wright fait une lampe à disques en charbon, marchant automatiquement.

1846. — W. E. Staite construit un appareil à deux charbons obliques, buttant à une distance invariable contre une masse de matière réfractaire.

1847. — W. E. Staite invente le régulateur à solénoïde, lampe réglée par le courant.

1848. — W. E. Staite et Pétrie combinent la lampe à encliquetage et pendule, la lampe où l'action d'un noyau en fer

doux dans un solénoïde est équilibrée pendant toute la course, une lampe à cliquet, etc.

1849. — Léon Foucault invente le régulateur à électro-aimant.

1851. — Stater et Watson inventent la rondelle de coinçage employée aujourd'hui dans presque tous les régulateurs américains.

1852. — Roberts construit une lampe à électro-aimant oscillant et à étincelle de rupture.

1853. — Binks invente la lampe à crayons parallèles et la lampe à crayons concentriques.

1855. — Chapman fait un régulateur à deux électro-aimants, l'un pour l'écart, l'autre pour le rapprochement des charbons.

1855. — Lacassagne et Thiers inventent l'électro-aimant différentiel appliqué au réglage des lampes, et le régulateur à écoulement de liquide.

1856. — Way combine une lampe à électrodes de mercure.

1857. — Serrin construit son régulateur à rouages avec un porte-charbon moteur.

1861. — Gramme construit un régulateur à joint élastique.

CHAPITRE XII

BOUGIES ÉLECTRIQUES

Classification. — Ce chapitre comprend : 1° les bougies électriques proprement dites ; 2° les régulateurs à charbons parallèles ; et 3° la lampe-soleil et les appareils similaires.

Bougies Jablochkoff. — Le 23 mars 1876, M. Paul Jablochkoff, ancien officier de l'armée russe, prenait un brevet d'invention dont voici la description complète :

« Mon invention consiste dans la suppression absolue de tout mécanisme ordinairement usité dans les lampes électriques ordinaires. Au lieu de réaliser mécaniquement le rapprochement automatique des charbons conducteurs au fur et à mesure de leur combustion, je fixe simplement ces charbons l'un contre l'autre, en les séparant par une substance isolante, susceptible de se consumer en même temps que les charbons, du kaolin, par exemple. Les deux charbons ainsi préparés peuvent se planter dans une sorte de chandelier spécial, et il suffit de les faire traverser par le courant d'une pile ou d'une source quelconque pour qu'un arc voltaïque prenne naissance d'une extrémité à l'autre.

« Dans le cas d'un courant de même sens, l'un des charbons s'usant plus rapidement que l'autre, il y a lieu de se servir de charbons de sections inégales, afin de maintenir constante l'égalité de leurs longueurs. Au lieu de deux baguettes de charbon fixées de part et d'autre d'une bande de kaolin, je puis me servir d'un tube de kaolin entouré d'un tube de charbon et renfermant un cylindre également de charbon.

« Pour l'allumage ou la mise en marche de la lampe, je

réunis les deux extrémités libres des charbons par une petite bande de charbon qui, au passage du courant, rougit d'abord, puis se brûle, et sert ainsi d'amorce à l'arc voltaïque.

« Lorsque j'ai besoin de maintenir le point lumineux à une hauteur constante par rapport à un réflecteur, je me sers d'un mouvement d'horlogerie à déclenchement électrique, commandé par une dérivation du courant, ou sans déclenchement, s'il n'est pas nécessaire.

« Au lieu de charbons ordinaires, je puis employer des charbons agglomérés qui pourront surtout convenir à la disposition en tube mentionnée plus haut. »

Nature des courants employés avec les bougies. — Lorsqu'on fait usage de courants continus pour l'éclairage à l'arc voltaïque, le charbon positif s'use deux fois aussi vite que le charbon négatif. Cela est sans inconvénient dans un régulateur à crayons opposés, car on peut laisser descendre le foyer lumineux sans nuire aux éclairages industriels, ou s'arranger pour que le charbon négatif se meuve une fois moins vite que le charbon positif ; mais quand les charbons sont maintenus parallèlement, au bout de très peu de temps les pointes ne se trouvent plus en face l'une de l'autre; l'arc grandit, puis s'éteint. Pour empêcher cette usure inégale, on essaya de donner au crayon positif une section double. Cela compensa assez bien la différence des combustions. Le charbon négatif rougissait alors sur une grande longueur et s'amincissait tellement que la flamme perdait sa régularité, son intensité et sa consistance; en un quart d'heure l'arc s'éteignait de nouveau. On chercha ensuite, sans grand succès d'ailleurs, à changer le sens du courant toutes les minutes dans les dynamos Gramme, alors dans tout l'éclat de leur brillant succès; finalement on eut recours aux machines à courants alternatifs et tout alla bien.

Les machines de l'Alliance pouvaient entretenir l'arc dans trois bougies en série, brûlant simultanément; cela suffit à M. Jablochkoff pour perfectionner son invention et en faire apprécier le réel mérite. M. Gramme ayant, vers la même époque, combiné une machine à courants alternatifs d'un plus petit

volume et permettant d'alimenter seize bougies à la fois, une Société se forma pour l'exploitation des bougies et commença les belles expériences d'éclairage public qui ont tant contribué à l'embellissement de Paris pendant l'Exposition universelle de 1878.

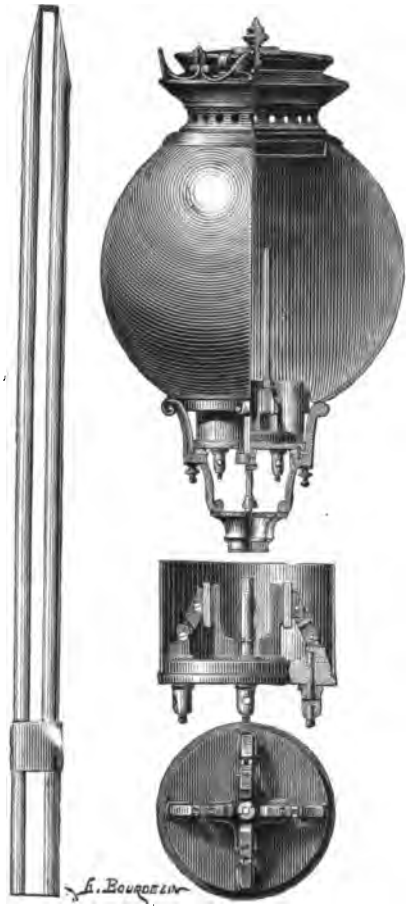


Fig. 215. Fig. 216.
Bougie et chandelier Jablochkoff.

Depuis cette époque, presque toutes les installations faites au moyen de bougies ont été réalisées par des machines Gramme auto-excitatrices ou à excitation séparée, que nous avons décrites au Chapitre X.

Ces machines sont généralement à 2 ou à 4 circuits. Sur chaque circuit, on met 5 bougies en série. Les bougies d'un même circuit s'allument ensemble et se renouvellent par une seule et même manœuvre d'un commutateur. Dans certains cas, on met un commutateur à chaque bougie pour diminuer la longueur du câble employé.

Fabrication des bougies. — Nous représentons (Fig. 215) une bougie Jablochkoff dans sa forme usuelle.

Cette bougie est composée :

1° De deux crayons ou baguettes cylindriques en charbon, ayant généralement $0^m,004$ de diamètre et $0^m,25$ de longueur ;

2° De deux douilles en cuivre dans lesquelles s'emboîtent les crayons. Ces douilles ont $0^m,045$ de hauteur; elles sont ouvertes longitudinalement dans toute leur longueur;

3° D'une cloison isolante ayant $0^m,030$ de longueur, recevant les douilles en cuivre et les maintenant à écart convenable;

4° D'un colombin ou lame isolante séparant les crayons dans toute leur longueur;

5° D'une pâte charbonneuse réunissant les deux pointes des crayons pour déterminer l'allumage.

Les crayons sont de très bonne fabrication; ils donnent excessivement peu de cendres; leur calibrage est rigoureusement vérifié et leur résistance est d'une parfaite régularité. Leur résistance est d'environ 40 ohms pour un mètre de longueur et un millimètre carré de section.

Les douilles sont obtenues à l'aide de petites feuilles de cuivre rectangulaires roulées sur elles-mêmes mécaniquement. Leurs ouvertures longitudinales ont $0^m,002$ de largeur.

Les cloisons qui réunissent les douilles et, par suite, les crayons deux à deux, sont constituées par un mélange de kaolin, de magnésie, de sulfate de chaux et d'eau légèrement gommée. Ce mélange est malaxé, passé à la filière, puis séché à l'air. Avant que la pâte ait atteint une consistance trop grande, elle est coupée en bouts de $0^m,03$.

Ces cloisons durcissent sans retrait; elles présentent une solidité suffisante pour résister à la pression des douilles au moment de l'entubage.

De très nombreuses substances ont été essayées pour la fabrication du colombin qui sépare les crayons. On a notamment employé du kaolin, des silicates fusibles et du plâtre. Le kaolin entraînait à une déperdition de lumière, les silicates se recourbaient en forme d'escargot, le plâtre donnait une lumière irrégulière. Le mélange auquel on s'est arrêté contient une partie de baryte et deux parties de plâtre; il n'affaiblit pas l'intensité du foyer, disparaît complètement au fur et à mesure de la combustion des charbons et donne peu d'irrégularité dans la lumière.

Le mélange est tamisé, puis gâché avec une certaine quantité d'eau, de manière à former une pâte demi-fluide. Cette pâte est étendue sur une plaque en marbre; elle est sectionnée à l'aide

d'un peigne métallique, lui donnant transversalement la forme d'une lame concave sur ses deux champs, et mise à l'étuve pendant quelques heures.

Le montage d'une bougie s'exécute très rapidement. On prend une moulure de base; on la garnit de deux douilles en cuivre, et on introduit un crayon dans chaque douille.

L'élasticité des douilles, la compressibilité des moulures et le calibrage exact des crayons rendent ces cinq pièces suffisamment solidaires pour qu'on puisse les manier facilement sans casse anormale.

On taille ensuite les extrémités libres des crayons de manière à ce qu'elles soient à la même hauteur et qu'à l'endroit du colombin elles aient une épaisseur nulle; les biseaux se font à la meule, sur une longueur d'environ 15 millimètres.

Le colombin est alors introduit entre les deux crayons dont il épouse la forme, et il est maintenu par une légère convergence de ces crayons, convergence obtenue au moment de l'entubage. On coupe le colombin de façon que son extrémité soit de 1/2 centimètre en dessous des pointes des crayons, et on trempe l'extrémité de la bougie dans un mélange composé d'eau gommée, de coke et de plombagine.

Dans certaines installations, pour augmenter un peu la durée de chaque bougie, on demande que les charbons soient cuivrés. Cette opération se fait au bain de sulfate ordinaire, avant la pose du colombin; les bougies sont préalablement trempées dans une solution de potasse caustique à 10 pour 100, et les parties qui sont en contact avec le colombin, enduites d'une couche de vernis à la gomme laque. Les bougies galvanisées sont finalement soumises à un vernissage général pour préserver le dépôt de cuivre de l'oxydation.

L'emballage des bougies est fait avec soin afin d'éviter, pendant le transport, la casse et la dislocation des éléments constitutifs. A cet effet, on emploie des cadres en carton garnis de feutre, qu'on superpose dans des caissettes en bois.

Les détails qui précèdent ont une importance justifiée par le chiffre élevé de la production annuelle des bougies. Cette production atteint, en France, 1 500 000 pièces, en moyenne.

Durée des bougies. — Les bougies ordinaires durent deux heures lorsqu'elles sont cuivrées, et dix minutes de moins lorsqu'elles ne le sont pas. Le cuivrage se serait donc généralisé, s'il n'eût porté une légère atteinte à la fixité de la lumière. Avec des chandeliers à 8 supports, on peut ainsi assurer le service de l'éclairage pendant les plus longues veillées. Le plus souvent 4 supports suffisent; mais, comme il peut arriver que les amorces d'allumage soient détruites, il est bon d'employer quelques supports supplémentaires.

Intensité lumineuse. — A nu, les bougies de 4 millimètres communément employées donnent une intensité de 45 becs carcels lorsque les deux crayons sont de face, et de 40 becs lorsqu'ils sont de profil. Sous globe, cette intensité est réduite d'une quantité qui dépend du diamètre du globe et de la nature de sa surface. Avec les globes opalins généralement utilisés, la perte de lumière est de 20 pour 100 environ.

Les bougies de 6 millimètres, usitées dans diverses installations, et notamment au port du Havre, donnent une intensité lumineuse de 80 becs carcels lorsqu'on prend la mesure de face, et de 73 becs carcels lorsqu'on prend la mesure de profil.

Les bougies de 3 millimètres, dont l'usage a presque complètement disparu, donnaient 24 becs de face et 20 becs de profil.

Chandelier Jablochkoff. — La figure 216 représente le chandelier généralement employé pour supporter les bougies Jablochkoff. Chaque bougie est retenue par une pièce métallique dont les deux mâchoires, munies de rainures demi-cylindriques, sont convenablement isolées; l'une de ces mâchoires est fixe, l'autre est à charnière avec ressort assurant la perfection du contact. Toutes les mâchoires fixes d'un même chandelier sont réunies à une même borne centrale. Les mâchoires à charnière sont, au contraire, isolées les unes des autres et communiquent avec le générateur électrique par un fil distinct. Ainsi, pour un chandelier à 6 pinces, il faut 7 fils conducteurs; pour un chandelier à 4 pinces, 5 fils sont nécessaires. Ces fils aboutissent à un commutateur qui

permet d'envoyer le courant successivement dans chacune des bougies.

Chandelier à commutateur. — Pour éviter la dépense et la complication des fils réunissant chaque pince extérieure du chandelier avec un commutateur séparé, on a combiné des chandeliers spéciaux munis de leurs commutateurs. Les bornes, qui servent dans les chandeliers ordinaires à fixer les fils correspondant à chaque pince extérieure, sont remplacées par des touches, lesquelles sont reliées à une borne unique au moyen d'une palette mobile. Ces appareils ne peuvent être utilement employés que si leur face de dessous est facilement accessible pour la manœuvre d'une clef déplaçant successivement la palette d'une touche à la suivante.

Chandeliers automatiques. — La Société qui exploite la bougie Jablochkoff a essayé une foule de chandeliers dans lesquels le remplacement des bougies a lieu automatiquement, au fur et à mesure qu'elles sont usées.

Nous représentons (Fig. 217) une des premières formes données à ces appareils.

Ce chandelier est caractérisé par l'agencement d'un fil ordinaire ou métallique qui tend un ressort et maintient un mécanisme dont les deux positions extrêmes correspondent au passage du courant : 1° dans une bougie; 2° dans la bougie suivante. La dérivation se produit lorsque la première bougie est usée et que la flamme a brûlé le fil.

Chandelier à dérivation. — Le chandelier à dérivation, qui a été essayé en premier lieu sur la place de la Bastille, consistait en un appareil où toutes les bougies se trouvaient en même temps dans le circuit. A l'allumage, la bougie présentant la moindre résistance s'enflammait et l'arc électrique se maintenait dans cette bougie jusqu'à son entière consommation. L'arc jaillissait ensuite entre les crayons de la bougie la moins résistante de celles qui restaient; et ainsi de suite, jusqu'à complète usure de toutes les bougies placées dans le chandelier. Ce mode d'allumage présen-

tait plusieurs inconvénients sérieux : il établissait dans les bougies hors d'action des dérivations qui consommaient de l'énergie électrique en pure perte ; les amorces de plusieurs bougies se trouvaient souvent grillées en même temps ; au milieu de la course d'une bougie, il s'en allumait quelquefois une nouvelle qui éteignait la première, etc., etc... Bref, l'automaticité ainsi pratiquée

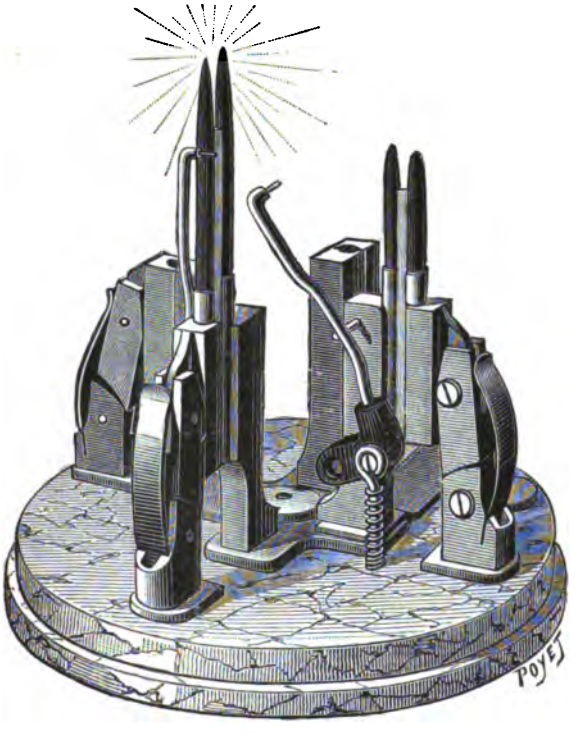


Fig. 217. — Chandelier automatique.

économisait beaucoup de fil dans l'installation et une main-d'œuvre assez onéreuse pendant l'éclairage ; mais elle produisait de grandes irrégularités dans le service et occasionnait assez souvent l'extinction complète de tout un circuit pendant plusieurs heures. On dut y renoncer, non sans avoir cherché à en améliorer le fonctionnement par divers moyens : fabrication de bougies ayant des résistances très différentes les unes des autres ; emploi de colombins favorables au maintien de l'arc, etc....

Chandelier Clariot. — Les grands magasins du Louvre, à Paris, emploient pour l'allumage automatique des bougies Jablochkoff un chandelier étudié par M. Clariot et représenté (Fig. 218).

Ce chandelier est à quatre bougies. Toutes les mâchoires intérieures des pinces sont en connexion avec un plateau central sur lequel s'attache un des conducteurs du courant. Chaque mâchoire extérieure communique, comme dans les chandeliers ordinaires à commutateur, avec une plaque placée sous le chandelier. Une manette à manivelle, tournant autour du centre de l'appareil, permet de mettre l'une ou l'autre des quatre plaques en contact avec le second conducteur du courant.

Les plaques sont en outre reliées entre elles au moyen de quatre tampons coniques, sollicités par des ressorts à boudin pour l'établissement des contacts. En admettant les bougies placées et les quatre chevilles en contact, le chandelier Clariot serait un appareil de dérivation ordinaire.

Voici maintenant le point caractéristique de l'invention. Sur chaque bougie, au milieu de la douille de cuivre, on fixe un petit morceau de fil métallique au moyen d'une goutte de soudure très fusible. Quand on introduit une bougie dans ses pinces, le petit morceau de fil a pour effet de faire fléchir le ressort qui maintenait les tiges à tête conique contre les plaques de communication, de sorte que la mise en place des quatre bougies les isole complètement l'une de l'autre.

Le courant traverse d'abord la bougie qui est en communication avec la plaque sur laquelle la manette à manivelle est arrêtée. Cette bougie brûle jusqu'à ce que la chaleur de l'arc fonde la goutte de soudure placée sur sa douille en cuivre et laisse tomber le fragment de fil métallique qui retenait le ressort. La tige à tête conique, sous l'influence de ce ressort, met en contact la plaque de la bougie consumée avec la plaque d'une bougie adjacente et celle-ci entre dans le circuit.

A ce moment, le courant trouve deux chemins : 1° l'arc de la première bougie; 2° les charbons et l'amorce de la deuxième bougie. La température de l'arc s'abaisse, sa résistance augmente, et il s'éteint très rapidement. La deuxième bougie est seule dans le circuit; elle s'allume et brûle jusqu'à ce que sa goutte de soudure

fonde à son tour et que la tête conique de la tige correspondante mette en communication la troisième plaque avec le circuit.

La description un peu minutieuse que nous venons d'en faire pourrait laisser supposer que l'appareil est compliqué. Il n'en

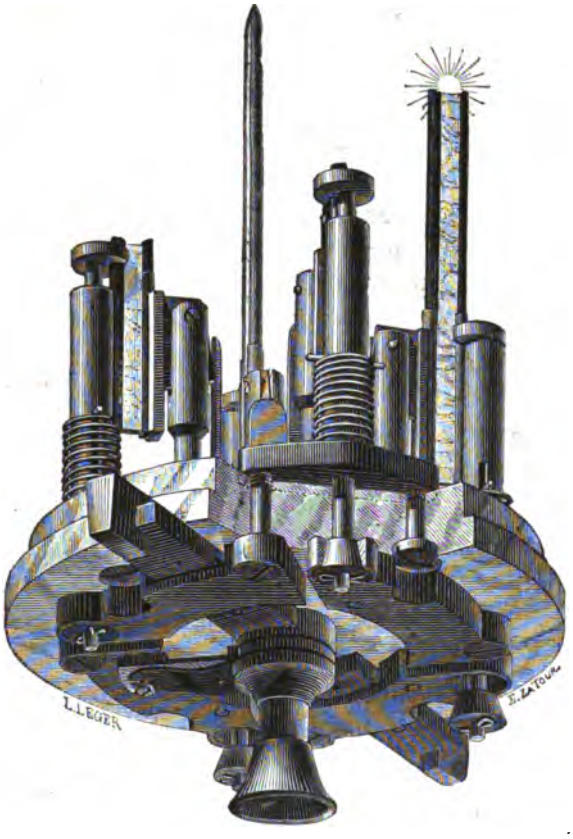


Fig. 218. — Chandelier Clariot.

est rien cependant; les organes sont un peu nombreux, mais leur rusticité et leur sûreté de marche donnent à l'ensemble un fonctionnement tout à fait irréprochable.

Le chandelier Clariot repose sur le même principe que le chandelier automatique de la Société Jablochkoff; ce qui lui est propre, c'est la disposition des pièces qui introduisent successivement les bougies neuves dans le circuit. A ce point de vue, il est supérieur à l'original.

Chandelier Bobenrieth. — Ce chandelier est une combinaison fort ingénieuse de l'appareil à changement automatique et de l'appareil à dérivation où l'allumage s'opère par suite d'une différence de résistance dans les bougies.

La figure 219 représente un chandelier Bobenrieth à six pinces.

Contrairement aux dispositions précédentes, toutes les mâchoires extérieures sont en communication avec une rondelle métallique et toutes les mâchoires intérieures sont isolées. Un disque central porte six tiges flexibles, qui sont reliées avec les six mâchoires intérieures au moyen d'anneaux en plomb. Ces anneaux se placent au moment même où l'on garnit le chandelier de bougies. Ainsi préparé, l'appareil possède six bougies, toutes en communication avec la rondelle extérieure reliée au circuit et avec le disque central également relié au circuit.

Le courant traverse donc toutes les bougies; il allume la moins résistante, et celle-ci se consume jusqu'à ce que l'anneau de plomb, en fondant, détruise son contact avec le disque central et l'isole du circuit. Le courant allume alors la bougie de moindre résistance, et ainsi de suite.

Les deux principaux inconvénients des chandeliers en dérivation, savoir : la perte de courant dans les bougies inactives et l'incertitude dans l'allumage, ont été annulés par M. Bobenrieth d'une manière extrêmement simple. Au lieu de donner 15 ohms à la résistance maxima des amorces, il a créé des amorces dont la résistance varie entre 20 000 et 100 000 ohms.

Grâce à ces hauts chiffres et à ces grandes différences, les bougies s'allument sans hésitation, et la perte par dérivation est à peu près nulle.

Ce chandelier présente sur le précédent l'avantage d'une grande réduction dans les frais d'installation, puisqu'il exige beaucoup moins de conducteurs; il supprime comme lui beaucoup de frais de main-d'œuvre et réduit à son minimum la consommation des bougies par suite de leur usure complète avant la commutation.

Bougie Ignatiew. — Cette bougie, revendiquée dans le brevet

primitif de M. Jablochkoff, est à charbons concentriques. Le crayon négatif est une baguette ordinaire et le crayon positif est un tube obtenu à la filière. Entre les deux crayons se trouve une bague en kaolin ou une simple couche d'air.

Le but de cette disposition est de permettre l'usage des courants continus pour alimenter les bougies. A cet effet, il suf-

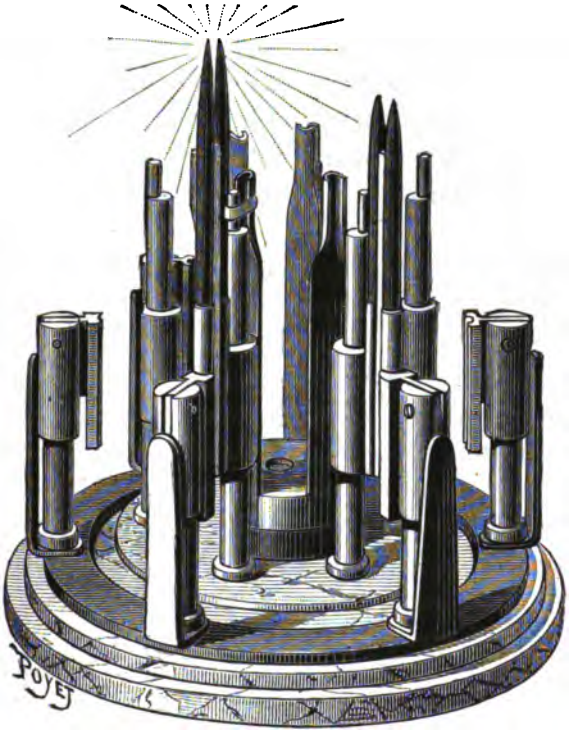


Fig. 219. — Chandelier Bobenrieth.

fit de donner au charbon positif une section cinq fois aussi grande que celle du charbon négatif. Les pointes s'usent alors également, ne se fendillent pas et brûlent sans bruit.

— Voici les proportions indiquées par M. Ignatiew :

Diamètre du charbon négatif	$0^m,0042$.
Épaisseur de l'espace annulaire	$0^m,0025$.
Épaisseur du charbon positif	$0^m,0019$.
Diamètre —	$0^m,013$.
Longueur —	$0^m,320$.

Ces bougies durent 6 heures; leur lumière est stable et régulière.

Bougie Million.— M. Million constitue ses bougies au moyen de deux charbons creux, à l'intérieur desquels il introduit de petites mèches de coton. Ces petites mèches permettent de supprimer le colombin et de diminuer la force électromotrice nécessaire à l'arc. L'allumage est obtenu à l'aide d'une amorce charbonneuse ou d'une petite bague en caoutchouc enduite de charbon, qu'on place sur les pointes et qui sert en même temps à les maintenir pendant leur transport.

La lumière fournie a une couleur jaune-orange présentant une grande analogie avec celle du gaz. En résumé, cette bougie n'offre aucun avantage appréciable sur les bougies Jablochkoff ordinaires, et elle coûte un peu plus cher.

Bougie Jamin. — Nous conservons à cet appareil le nom de bougie que lui a donné M. Jamin, bien qu'en réalité ce soit un véritable régulateur à charbons parallèles et indépendants.

Le rapprochement des pointes s'opère à l'aide d'un électro-aimant. Le maintien de la flamme à l'extrémité des crayons est dû à la réaction, sur l'arc voltaïque, du courant lui-même.

Voici la description présentée par l'inventeur à l'Académie des sciences le 31 mai 1880 :

« Ma nouvelle lampe (Fig. 220) repose sur une base d'ardoise que l'on fixera dans des globes ou des lanternes suivant les besoins de la décoration, et qui soutient vers le bas une gouttière de cuivre HHH, large mais peu épaisse, afin d'éviter les ombres, et vers le haut une gouttière en fer doux G, destinée à s'aimanter et à attirer une palette mobile EF. Le courant alternatif d'une machine Gramme passe d'abord dans un fil de cuivre fin, isolé, replié quinze ou vingt fois dans les deux gouttières et qui constitue le circuit directeur. C'est au milieu de ce cadre et dans son plan que se placent les bougies. Il y en a trois ; mais on peut en placer un plus grand nombre si on veut prolonger l'éclairage. On introduit chacun de ces charbons dans un support tubulaire de cuivre où ils se tiennent verticalement, serrés par un ressort, la pointe

en bas. L'opération n'offre aucune difficulté et n'exige aucune adresse. Il n'y a pas de matière isolante entre les charbons. Ceux de droite β... sont fixes et verticaux; ceux de gauche α... pendent librement autour des articulations B, B′, B″, etc.; les sommets de leurs supports sont reliés par une barrette CC′, qui leur imprime un mouvement commun; la palette EF est rattachée par un levier ED à cette barrette, qu'elle pousse vers la gauche

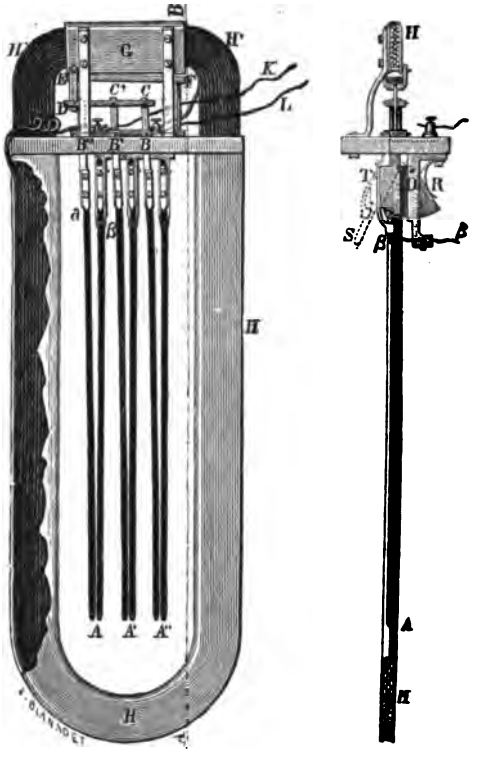


Fig. 220. — Bougie Jamin.

par son poids, ce qui rapproche les charbons jusqu'à ce que l'un d'eux vienne butter contre son compagnon. Il est à remarquer que le contact ne se fera que pour une seule des bougies, la plus longue ou celle dont les pointes sont le plus rapprochées; c'est celle qui s'allumera.

« Le courant électrique, après avoir traversé le circuit directeur, arrive à la fois aux trois charbons mobiles et peut revenir

indifféremment par les trois charbons fixes; il passe par ceux qui se touchent et les allume. Aussitôt l'aimantation se fait dans l'organe électro-magnétique G; la palette E F est attirée; les trois couples de charbon s'écartent à la fois, deux restant froids et l'arc s'étalant dans le troisième. Il persiste tant qu'il y a de la matière à brûler, maintenu aux pointes par l'action du courant directeur et y revenant nécessairement si une cause étrangère l'en écartait. Quand le courant s'arrête, la palette retombe et le contact se rétablit; s'il passe de nouveau, les charbons se rallument et s'écartent comme la première fois. Ainsi l'allumage est automatique, instantané et renouvelable à volonté.

« Quand la première bougie est consumée, il faut qu'une autre lui succède. A cet effet, le porte-charbon de gauche, qui était resté fixe, est articulé à son sommet; il peut se déplacer, non dans le plan du cadre, mais dans le plan perpendiculaire. Il est poussé par un ressort R qui l'écarte; mais il est maintenu dans la verticale par un fil de laiton β, recourbé en crochet à son extrémité et qui passe à frottement dur dans une filière où un ressort le presse.

« Quand la combustion de la bougie a amené la flamme jusqu'en β, elle fond le fil; un déclenchement se produit tout à coup; les deux charbons s'écartent brusquement; l'arc s'éteint; mais il se rallume aussitôt dans la bougie voisine. L'action est si prompte que l'on s'aperçoit à peine du changement, et que les autres lampes du même circuit ne subissent aucun affaiblissement. Il faut remarquer d'ailleurs que cette substitution d'une bougie neuve à sa voisine usée ne se produit que toutes les deux heures, que le fil de laiton n'a été fondu qu'à son extrémité, qu'il suffit de couper sa pointe, de le recourber et de l'avancer un peu dans sa filière quand on veut remettre des charbons neufs, et qu'il sert un grand nombre de fois. »

Malgré son mérite indiscutable, l'appareil Jamin n'a eu aucun succès en pratique, parce qu'il est moins simple que la bougie Jablochkoff et qu'il était assez sujet à dérangements.

Bougie Wilde. — Dans la bougie Wilde, les deux charbons sont fixés verticalement dans des supports métalliques; mais l'un

d'eux est légèrement incliné vers l'autre, et son support est articulé à une pièce fixe faisant corps avec le plateau de l'appareil. Ce support est muni d'une palette en fer qui constitue l'armature d'un électro-aimant.

L'électro-aimant est disposé de telle façon que son influence, combattue par celle d'un ressort antagoniste, ne devient prépondérante que lorsque les crayons viennent à se toucher. Le charbon mobile est soumis pendant tout le temps de sa combustion à deux efforts contraires, qui le maintiennent dans une position convenable pour empêcher l'extinction de l'arc voltaïque et pour que cet arc ne quitte pas les pointes.

Malgré divers perfectionnements apportés à cet appareil par MM. Morin, Debrun, de Méritens, Solignac, etc., son emploi ne s'est pas développé, l'expérience ayant démontré que les régulateurs à charbons opposés étaient d'un usage plus pratique et plus économique que les régulateurs à charbons parallèles.

Lampe Soleil. — Cette lampe, dont le nom est un peu prétentieux mais dont les effets sont assez remarquables, a été imaginée par MM. Clerc et Bureau.

Elle se composait, dans ses débuts, d'un bloc de carbonate de chaux, présentant un évidement à sa partie inférieure, et de deux charbons traversant obliquement le bloc et ayant leurs pointes en regard dans l'évidement horizontal.

L'allumage se faisait au moyen d'un charbon qu'on présentait entre les deux pointes pour donner naissance à l'arc voltaïque.

Le carbonate de chaux se changeait en chaux vive, devenait incandescent et servait en même temps à augmenter l'intensité lumineuse et à réfléchir la lumière par ses parois. Les crayons duraient un jour, et les blocs une semaine. La lumière était d'une belle couleur, légèrement dorée et d'une fixité remarquable. La dépense de force motrice était, à éclairement sphérique égal, beaucoup plus élevée que celle exigée par les régulateurs et par la bougie.

Tel quel, l'appareil présentait l'inconvénient de ne pouvoir s'allumer ou se rallumer automatiquement; mais il était très

simple et la fixité exceptionnelle de sa lumière pouvait le faire adopter dans quelques installations spéciales. En le compliquant, sous prétexte de le perfectionner, les inventeurs lui ont retiré son originalité et un peu sa raison d'être, car leur régulateur ne donne pas une lumière plus régulière que ceux à charbons verticaux, et il absorbe deux fois autant de force motrice pour la même somme totale de lumière produite.

Cela n'empêche pas le *régulateur Soleil* d'être fort ingénieux et d'avoir encore quelques partisans, à cause de la couleur agréable de sa lumière aussi bien que de sa grande fixité.

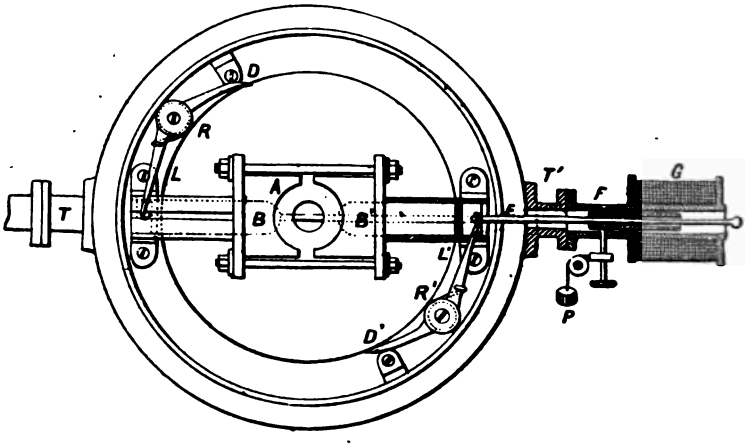


Fig. 221. — Lampe Soleil.

En voici la description :

Un bloc de marbre A (Fig. 221), ayant 50 milllimètres de longueur, 40 millimètres de largeur et 30 millimètres d'épaisseur, est percé de deux trous pour recevoir les charbons et possède un évidement central, siège d'émission de la lumière. Ce bloc est placé dans un châssis en fonte muni de deux tubes en fer pour guider les crayons et pour fixer les organes principaux sur une cornière circulaire.

La cornière circulaire forme la base de la lampe; elle reçoit les globes et les chapiteaux servant à la décoration.

Les charbons BB' sont poussés contre les parois du bloc par deux ressorts à spirale RR' agissant sur les leviers coudés LL'.

Quand les charbons sont usés, la lame auxiliaire des leviers ren-

Fig. 222. — Lampe Tihon et Rézard.

contre des buttées D D′ qui mettent l'appareil en court circuit.

L'allumage s'opère à l'aide d'un solénoïde G, de son armature F et d'une tige E, terminée par un petit charbon qui traverse le crayon B'.

L'armature F et la tige E sont poussées, à l'aide d'un contrepoids P, de telle sorte que le petit crayon vient continuellement toucher le crayon opposé B lorsque la lampe est au repos.

Quand le courant traverse l'appareil, le solénoïde attire son armature, l'arc jaillit entre le crayon B et le charbon d'allumage qui se retire dans le crayon B' et amène l'arc contre sa pointe. Le courant passe alors entre les crayons B et B', et la lampe fonctionne normalement.

L'appareil est monté sur deux tourillons T T' qui permettent de l'incliner à volonté pour diriger ses rayons sur un point déterminé.

Le bloc dure de dix à quinze heures; les charbons ne s'usent qu'à raison de 2 millimètres par heure; ils ont 20 millimètres de diamètre et 100 millimètres de longueur; de sorte que le régulateur consomme, toutes les cinquante heures, environ quatre blocs de marbre et une paire de crayons.

Lampe Tihon et Rézard.— Cette lampe, qui présente quelque analogie avec la précédente, quant au principe, est représentée (Fig. 222).

Elle se compose essentiellement : 1° de deux charbons CC formant entre eux un angle très aigu, fixés sur la base de l'appareil dans des petits godets métalliques et appuyés par leurs pointes contre une lame de magnésie calcinée I; 2° d'un montant vertical en bronze soutenant la lame de magnésie et deux tiges verticales le long desquelles glissent deux contrepoids P P; 3° d'un système électro-magnétique E E' servant à l'allumage.

Les contrepoids P P sont terminés par deux crochets qui appuient sur les charbons à deux centimètres environ de leur extrémité libre et qui leur amènent le courant. En arrivant à la fin de leur course, ces contrepoids se mettent en contact avec les parties fixes de la lampe, ce qui sort les charbons du circuit et empêche l'extinction des autres lampes placées en série.

Le système électro-magnétique se compose d'une bobine

principale E et d'une bobine E′, servant d'armature à la première et faisant osciller un levier vertical muni de deux dents *e*.

Un bloc A glisse le long d'une tige carrée, laquelle peut tourner autour de son axe et porte un bras radial terminé par un petit charbon *a*; ce bloc appuie sur le contrepoids P et participe à son mouvement de descente.

Au repos le charbon *a* touche les deux crayons CC.

Lorsque le courant traverse l'appareil, l'électro-aimant E attire l'électro-aimant E′; celui-ci entraîne son levier vertical et fait tourner la tige carrée qui éloigne le charbon *a* et fait jaillir l'arc entre les pointes.

Les poids PP descendent lentement, au fur et à mesure de l'usure des crayons, et le charbon *a* reste ainsi constamment à la hauteur des pointes.

Cette lampe fonctionne assez régulièrement; mais elle ne présente sur la bougie Jablochkoff aucun avantage qui puisse compenser, d'une part, sa complication, et, d'autre part, son défaut de n'éclairer que d'un côté.

CHAPITRE XIII

LAMPES A INCANDESCENCE

Lampes industrielles. — Bien qu'elles ne soient entrées dans la pratique courante que depuis très peu d'années, les lampes à incandescence ont vivement attiré l'attention des inventeurs, et le nombre des types de fabrications diverses va sans cesse en augmentant. C'est à ce point qu'il nous serait difficile, sinon impossible, d'établir aujourd'hui une nomenclature complète des types employés dans l'industrie, et même d'indiquer les noms de tous les fabricants.

Nous avons limité nos recherches aux lampes les plus appréciées, en commençant, bien entendu, par celle de M. Edison; car nous considérons M. Edison, nous ne saurions trop le répéter, comme le véritable créateur de l'éclairage par incandescence, c'est-à-dire comme un des bienfaiteurs de l'humanité.

Pour plusieurs systèmes nous n'avons pu nous procurer que des renseignements très incomplets, par suite du mystère qui entoure encore leur fabrication; mais la description des procédés usités dans les grandes usines suffira pour donner au lecteur une idée exacte de cette nouvelle et grande industrie.

Autant que possible nous avons complété nos descriptions par le tableau des lampes livrées actuellement en France.

Lampes Edison. — La construction des lampes à incandescence comprend une série d'opérations distinctes; les unes communes à tous les systèmes, les autres spéciales à chaque type; les unes brevetées et par suite connues, les autres constituant des secrets de fabrication ou de simples tours de main,

difficiles à imiter dans les débuts. Bien qu'un peu compliquée dans son ensemble, cette construction s'effectue aujourd'hui très régulièrement, sans déchet anormal et à un bas prix relatif qui explique le développement considérable qu'elle a pris en peu de temps.

La lampe Edison (Fig. 223) se compose : 1° d'un filament de charbon recourbé en fer à cheval ; 2° d'une ampoule en verre ; 3° de deux fils en platine reliés aux extrémités du filament ; 4° d'un manchon fileté faisant corps avec l'ampoule et destiné à retenir la lampe sur son support.

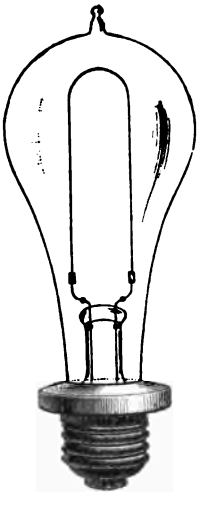


Fig. 223.
Lampe Edison.

Préparation des filaments. — Après avoir essayé le carton et diverses matières végétales, M. Edison fixa son choix sur les fibres de bambou du Japon pour constituer les filaments de ses lampes. Ces fibres sont détachées de la partie extérieure des tiges de bambou, découpées par petites lames d'environ $0^m,30$ de longueur et $0^m,02$ de largeur et envoyées par bottes aux États-Unis et en Europe. L'arbuste doit avoir trois ans pour fournir des fibres vigoureuses et homogènes.

A l'usine, les lames sont amincies et polies avec soin. La largeur et l'épaisseur normales sont obtenues à l'aide d'un outillage extrêmement simple, permettant d'opérer avec une grande rapidité. Quand la lame est jaugée et bien vérifiée, on la place dans une matrice métallique et on la découpe suivant un gabarit déterminé. Après ces opérations préliminaires, la lame est réduite à l'état de brindille d'un millimètre environ avec un élargissement assez accentué aux extrémités permettant son adaptation facile aux fils conducteurs.

Ces brindilles ont des longueurs différentes suivant l'intensité de la lumière qu'on désire obtenir ; généralement, elles ont $0^m,125$ pour les lampes de 16 bougies et $0^m,110$ pour celles de 10 bougies.

A l'atelier de carbonisation, les filaments sont placés dans

des moules plats en nickel, dans lesquels on les recourbe en fer à cheval. Chaque moule renferme deux brins, un long et un court, maintenus par deux disques à gorge afin d'empêcher toute déformation pendant la cuisson.

Les moules sont entassés par centaines dans des moufles à fermeture hermétique que l'on garnit de plombagine pour empêcher tout contact avec l'air extérieur. Puis, les moufles sont mises à l'étuve pour la carbonisation.

Après avoir refroidi lentement, les filaments sont déjà assez rigides pour être maniés facilement; mais ils sont loin cependant d'avoir atteint le maximum de dureté qu'ils possèdent lorsque la lampe est entièrement terminée.

Mise en place des filaments. — Les ampoules, livrées par les verreries de Bohême, sont munies d'un tube de verre assez mince, qu'on renfle en deux endroits et qui présente un rétrécissement intermédiaire. C'est par ce tube que les lampes sont mises en communication avec les appareils à vide; et, quand l'air est suffisamment raréfié, la coupure et la soudure s'opèrent au rétrécissement de la partie supérieure.

Les fils de platine qui doivent réunir les filaments aux supports des lampes sont placés dans un tube convenablement disposé pour fermer l'orifice inférieur des ampoules. On soude à leurs extrémités des petits fils de cuivre coudés et aplatis, de manière à former une sorte de pince dans laquelle on introduit chacun des bouts méplats du filament. Cela fait, on serre les pinces et on soumet les contacts à un bain galvanique pour cuivrer tous les points d'attache et les bouts de filament, ce qui établit une excellente conductibilité dans toutes les parties intérieures de la lampe.

Après la galvanisation, les tubes avec leur filament sont introduits dans les ampoules et soudés avec elles au chalumeau. Avant chaque opération de soufflage et de soudage, les pièces sont recuites dans des étuves à gaz, de manière à rendre le verre plus malléable et moins cassant.

Raréfaction de l'air. — Pour obtenir un vide convenable dans

les ampoules, on se sert de pompes à mercure de Sprengel à action continue, constituées : 1° par deux tuyaux horizontaux placés à des hauteurs différentes et régnant dans toute la longueur de l'atelier; 2° par une série de petits réservoirs à air en communication chacun avec une lampe et avec le tuyau horizontal supérieur; 3° par une série de tuyaux en caoutchouc unissant les conduits de communication au tuyau supérieur; 4° par deux grands réservoirs remplis de mercure, placés à la naissance des tuyaux; et 5° par une vis d'Archimède élevant d'une manière continue le mercure du réservoir inférieur dans le réservoir supérieur.

Du tube général supérieur, le mercure tombe incessamment dans le tube inférieur en entraînant avec lui l'air contenu dans les réservoirs et dans les lampes. Rien de plus ingénieux et de mieux combiné que ce dispositif, qui donne un vide d'autant plus absolu que l'opération se prolonge plus longtemps, et qui n'entraîne qu'à des frais de main-d'œuvre vraiment insignifiants.

Lorsque le vide est parvenu à un certain degré, on envoie le courant électrique dans les lampes en ayant soin de commencer par une faible intensité; puis, à l'aide d'un rhéostat, on augmente progressivement le courant au fur et à mesure que le vide devient plus parfait. Cette opération, qui a pour objet de purger le filament des gaz et de l'humidité qu'il contient après sa carbonisation, doit être conduite avec un soin tout particulier, de manière à ne pas altérer le charbon, tout en lui donnant un éclat final supérieur à celui qu'il aura en marche courante.

La lampe est enfin soudée au moyen d'un chalumeau portatif, et elle est alors prête à fonctionner.

Essai de classement des lampes. — La durée des lampes à incandescence étant en rapport direct avec l'intensité du courant qu'elles reçoivent, il est utile de connaître exactement la résistance de chacune d'elles, afin d'établir sur un même circuit des lampes de même résistance. De cette façon, et en admettant un réseau de conducteurs bien étudié, l'intensité est la même

dans chaque filament, et il est facile de régler la marche des dynamos de manière à ne jamais dépasser la force électromotrice qui correspond à la lumière normale.

D'autre part, comme, malgré le soin qu'on met au triage des filaments, les lampes ne produisent pas toujours la même intensité lumineuse pour une même résistance, il est utile d'opérer un classement basé sur des expériences photométriques.

L'essai des lampes comporte donc la détermination de leur résistance à froid et à chaud et de la lumière qu'elles émettent lorsqu'elles sont traversées par un courant déterminé sous une force électromotrice donnée.

Il n'y a rien de rigoureux dans ce classement, et il arrive souvent que des lampes assez différentes de constitution, soumises au même régime, durent très longtemps; cependant, une bonne fabrication doit comporter un échantillonnage minutieux, car il existe assez de causes de détérioration des lampes en dehors de leur lieu de production, pour nécessiter à l'usine toutes les précautions possibles contre la rupture prématurée des filaments.

Le tableau suivant, qui résume les expériences faites en 1886 sur vingt lampes Edison soumises pendant mille heures au même régime, fera bien ressortir ce que nous venons de dire sur la tolérance qu'on peut apporter dans le classement.

Ces expériences, dirigées par une Commission du *Franklin Institute* de Philadelphie, méritent toute confiance. Nous les publions donc sans formuler de réserves, malgré l'affaiblissement lumineux considérable qu'elles constatent après quatre cents heures de marche, affaiblissement en désaccord avec un grand nombre d'autres observations et avec nos propres expériences.

Nous ferons seulement remarquer que le nombre de watts par bougie qui était 4,58, en moyenne, a varié de 4,17 à 4,92, c'est-à-dire de 18 p. 0/0; tandis que les résistances à froid n'ont eu qu'un écart maxima de 12 0/0 (de 235 à 264 ohms). Au début, la plus forte intensité lumineuse a été de 16,66 et la plus faible de 13,76 bougies.

EXPÉRIENCES SUR 20 LAMPES EDISON DE 97 VOLTS

FAITES EN AVRIL ET MAI 1885

RÉSISTANCE à froid EN OHMS.	INTENSITÉ EN BOUGIES (moyenne sphérique) — NOMBRE D'HEURES							WATTS par bougie au début.	OBSERVATIONS.
	au début.	100.	200.	400.	600.	800.	1000.		
235	14,57	12,70	12,10	9,20	10,60	9,80	9,20	4,82	
235	15,44	14,00	12,50	9.40	11,40	10,80	9,90	4,52	
239	16,81	15,40	14,40	10,20	11,30	11,70	9,90	4,24	
239	16,09	13,60	12,40	9,20	10,70	10,30	9,10	4,24	
240	15,11	14,30	12,10	9,70	11,70	11,00	9,60	4,55	
241	14,87	11,00	11,10	9,60	10,60	10,30	9,60	4,58	
242	15,60	11,50	11,70	10,00	9,60	9,50	7,10	4,43	
244	15,72	14,10	14,50	9,40	10,90	10,80	9,50	4,37	Ayant survécu.
244	16,41	15,10	14,30	9,60	10,90	9,50	10,30	4,27	
245	15,62	14,30	12,30	9,50	11,30	10,20	9,10	4,37	
246	14,58	13,20	12,10	9,40	11,60	11,00	9,50	4,79	
250	16,66	15,20	13,20	9,60	11,20	10,50	9,50	4,21	
250	16,02	12,30	10,90	9,10	10,10	10,20	9,60	4,44	
252	14,38	12,60	11,60	9,50	10,40	10,30	9,60	4,83	
254	13,76	13,70	12,30	9,00	11,30	10,70	10,00	4,92	
255	15,65	13,50	12,20	»	»	»	»	4,40	Brisée après 300 h. de marche.
256	15,82	12,60	11,10	8,40	9,70	9,50	8,90	4,43	
259	16,61	14,10	13,90	9,30	10,00	9,80	8,70	4,17	
260	15,31	13,50	11,90	9,60	10,30	10,10	9,10	4,45	Ayant survécu.
264	14,67	14,40	14,00	10,10	11,60	10,60	10,10	4,71	
Moyennes....	15,43	13,55	12,58	9,50	10,87	10,34	9,38	4,58	

Types de la fabrication française des lampes Edison. — Voici quelques données générales sur les lampes des types courants exécutés par la Société Edison française dans ses ateliers d'Ivry en 1887. La même Société fabrique également un très grand nombre de lampes de modèles moins répandus dans l'industrie.

TYPES.	POUVOIR ÉCLAIRANT en bougies.	NOMBRE de VOLTS.	INTENSITÉ APPROXIMATIVE en ampères.	RÉSISTANCE A CHAUD en ohms.	NOMBRE DE LAMPES par cheval électrique.
A	100	90 à 115	4,30	22	1,5 environ
—	50	—	4,25	44,4	2,5 —
—	32	—	1 à 1,20	66,6	5 —
—	16	—	0,64 à 0,70	135	10 —
—	10	—	0,55	181,80	12 —
B	20	45 à 53	1,50	45,4	12 —
—	16	45 à 59	1,20	42	10 —
—	8	—	0,75	62,5	16 —
AC	12 à 16	23 à 28	1,60	15,7	16 —
S	10	63 à 74	0,75	93,3	12 —
X	6	28 à 33	0,90	27,1	22 —
—	4	18 à 23	1,00	20	30 —
—	4	13 à 18	1,50	10	28 —

Douille recevant la lampe. — Les figures 224 et 225 représentent le montage de la lampe Edison sur la douille qui sert à la fixer aux appareils d'éclairage.

La lampe est lutée avec du plâtre dans un manchon E en cuivre, fileté extérieurement et mis en contact avec un des fils de platine. Une petite rondelle saillante D, également en cuivre, est scellée au milieu du plâtre, à la base de la lampe. Cette rondelle est en contact avec l'autre fil de platine.

La douille M est en bois. Elle est recouverte de cuivre extérieurement et possède dans sa cavité : 1° une garniture en cuivre F, filetée le long des parois ; 2° une rondelle plate en cuivre C dans le fond. La garniture filetée est reliée à un des fils conducteurs du courant et la rondelle plate à l'autre fil conducteur.

Il suffit de visser la lampe sur la douille et de relier celle-ci aux conducteurs pour mettre le filament en communication directe avec le circuit.

Les mêmes figures 224 et 225 montrent la disposition adoptée par M. Edison pour allumer et éteindre chaque lampe, au moyen d'une simple clef de robinet. Le fil qui part de l'armature F ne se

rend pas directement à la plaque I. Il est interrompu au milieu. L'une des moitiés va de F à G, l'autre de H à I. Les deux plaques G et H sont creusées sur leur bord intérieur de manière à former une sorte d'entonnoir P coupé en deux. Une tige fendue terminée par une partie conique se meut suivant l'axe de l'entonnoir. Cette tige renferme un ressort plat qui en écarte les deux branches et les fait toucher contre les parois. Elle porte également une vis dont la tête coulisse dans une rainure hélicoïdale, de telle sorte qu'en tournant la clef d'un côté ou de l'autre on imprime à la tige un mouvement longitudinal de va-et-vient. En tournant de droite à gauche, par exemple, on serre l'extrémité conique de la tige contre les deux plaques G et H; en même temps on bande le ressort à boudin et la tête de vis s'introduit dans le cran d'arrêt de sa rainure. Pour interrompre le courant il suffit de tourner ensuite de gauche à droite de manière à faire sortir la vis du cran d'arrêt. En se détendant le ressort chasse la tête conique de son logement.

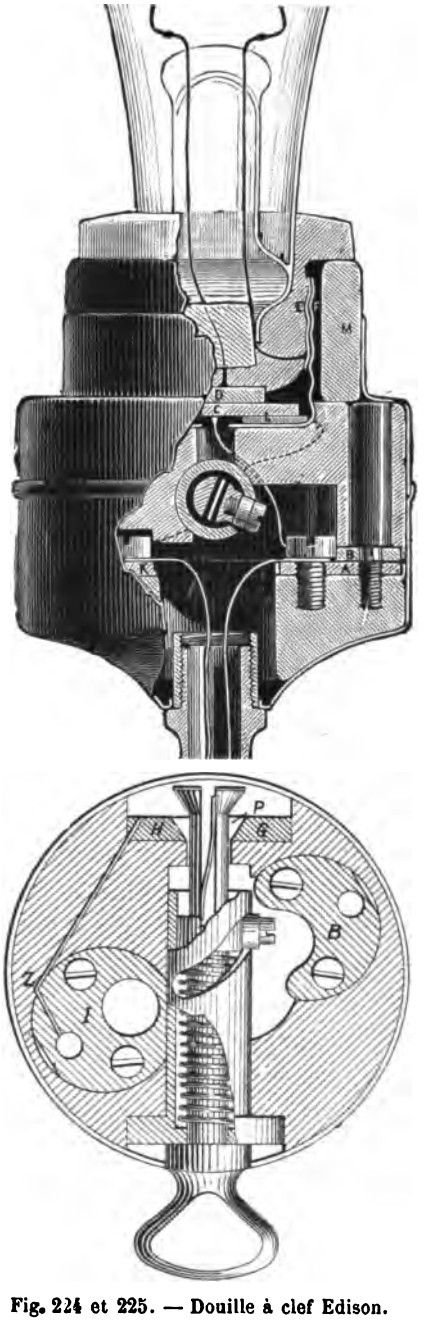


Fig. 224 et 225. — Douille à clef Edison.

Le courant est amené par l'un des conducteurs à la plaque A

puis par le fil B C à l'armature C de la douille ; il traverse successivement le fil de platine qui part de la plaque D, le filament, le second fil de platine et il arrive à l'armature E. De là il rentre dans la douille, longe le fil qui va de l'écrou F à l'une des moitiés de la cuvette G, et arrive à travers le commutateur à l'autre moitié de la cuvette. Il se trouve ensuite conduit par le fil H Z à la plaque K en contact avec le fil de retour.

Appareillage Edison — M. Edison ne s'est pas borné à inventer une lampe à incandescence et à combiner une dynamo permettant d'entreprendre de grandes installations ; il a étudié toute une série d'appareils accessoires et s'est présenté au public avec un système complet d'éclairage électrique. C'est surtout cet ensemble compact qui a fait le succès du procédé et qui a mis rapidement la lumière par incandescence en sérieuse concurrence avec le gaz et avec toutes les autres sources de lumière artificielle connues.

A l'Exposition de 1881, à Paris, ce fut une véritable surprise qui se transforma vite en admiration quand on vit les représentants de M. Edison installer des machines à vapeur, des dynamos, des lampes, des commutateurs spéciaux, des lustres, des appliques, une canalisation spéciale, des boîtes de jonction, des coupe-circuits, des régulateurs de courant, des compteurs d'électricité, etc., etc.; tout cela ayant l'aspect d'appareils pratiques, bien coordonnés, définitifs ; tout cela fonctionnant régulièrement, sûrement, économiquement.

Depuis cette époque, les Sociétés Gramme, Sautter Lemonnier et Cie, Breguet, « l'Éclairage électrique », Lyonnaise, A. Gérard, etc., pour ne citer que les principales maisons françaises, se sont mises à exécuter des installations complètes d'éclairage à incandescence qui ne laissent absolument rien à désirer. Mais en 1881 les Sociétés Edison étaient seules armées de toutes pièces pour établir la lumière électrique divisée dans tous les établissements publics et privés. C'est là un fait incontestable qu'il est juste de mettre en relief dans tous les ouvrages consacrés à l'éclairage électrique.

Lampes Swan. — M. Swan est considéré en Angleterre comme le véritable inventeur de la lampe à incandescence. Le fait est que, bien avant qu'il fût question de la lampe Edison, il

travaillait à la construction d'un appareil pratique, et qu'il avait même présenté dans une conférence publique des lampes fermées au chalumeau et contenant un petit charbon incandescent. Mais il est certain que ces lampes n'étaient pas encore assez perfectionnées pour être utilisées industriellement quand parut la lampe Edison à filament fibreux. C'est à la suite du succès éclatant de celle-ci que M. Swan reprit ses travaux et les mena à bonne fin en suivant la voie tracée par l'inventeur américain.

Cela dit, nous constaterons volontiers que les lampes Swan sont actuellement bien fabriquées; qu'elles sont économiques, en ce sens qu'elles exigent peu de watts pour une intensité lumineuse donnée ; et qu'enfin elles ont une longue durée moyenne.

Les filaments sont constitués par des fils de coton tressés dont les extrémités sont renflées par un enroulement final. Les fils sont parcheminés par une immersion d'assez longue durée dans de l'acide sulfurique étendu d'eau. On leur donne ensuite la forme en boucle qui les caractérise, et on les place dans un creuset en terre réfractaire qu'on remplit entièrement avec du poussier de charbon très fin. Le creuset, hermétiquement fermé, est porté dans un four où il est chauffé à blanc pendant tout le temps nécessaire à une complète carbonisation des fils.

Les fils de platine qui servent de soutien aux filaments sont isolés et renfermés dans une colonnette en verre fondu, laquelle est soudée au col de l'ampoule. La jonction des filaments avec les fils de platine est faite par l'assemblage des extrémités des deux substances dont on contourne les joints par des enroulements de fil de coton, avant la carbonisation.

Le vide des ampoules est obtenu au moyen de la pompe à mercure de Sprengel. Les filaments sont traversés par le courant pendant cette opération; ils laissent ainsi évacuer tous les gaz qui se trouvent dans leurs pores.

La douille d'attache des lampes est composée d'un cylindre en bois ou en caoutchouc durci, portant à l'extrémité inférieure une partie filetée pouvant se monter facilement sur les appareils à gaz ordinaires. A la partie supérieure du cylindre saillissent deux petits crochets en connexion avec deux vis extérieures recevant les fils conducteurs du courant.

Les fils de platine traversant la lampe se terminent également par deux petits œillets qu'on agrafe avec ceux de la douille. Un ressort à boudin compris entre la douille et l'ampoule assure le contact entre les attaches.

Ce support est simple et coûte extrêmement bon marché. Il a l'inconvénient de donner quelquefois des contacts imparfaits et d'exercer une certaine pression sur les fils de platine, ce qui en compromet la solidité, surtout si on a besoin de déplacer fréquemment les lampes. C'est pourquoi les fabricants de lampes Swan ont imaginé plusieurs autres systèmes de douilles permettant d'installer leurs lampes sur n'importe quel genre de supports, tout en assurant de bons contacts extérieurs, sans fatiguer les fils de platine.

Voici le tableau des principales lampes Swan vendues en France (1887) :

TYPES.	POUVOIR ÉCLAIRANT en bougies.	NOMBRE de VOLTS.	INTENSITÉ APPROXIMATIVE en ampères.	RÉSISTANCE A CHAUD en ohms.	NOMBRE DE LAMPES par cheval électrique.
A, consommant 4 watts par bougie.	10	100	0,40	250	18,7
	10	50	0,80	63	18,7
	10	25	1,60	16	18,7
	16	100	0,64	156	11,7
	16	65	0,98	66	11,7
	16	50	1,28	39	11,7
	32	100	1,28	78	5,8
	32	50	2,56	20	5,8
	50	100	2,00	50	3,7
	50	50	4,00	13	3,7
B, consommant 3 watts par bougie.	10	100	0,30	333	25
	10	50	0,60	83	25
	10	25	1,20	21	25
	16	100	0,48	208	15,6
	16	65	0,74	88	15,6
	16	50	0,96	52	15,6
	32	100	0,96	104	7,8
	32	50	1,92	26	7,8
	50	100	1,50	67	5
	50	50	3,00	17	5

Lampes Maxim. — Le filament des lampes Maxim n'est pas recourbé au moment de la cuisson, comme celui des lampes Edison ; il est découpé à l'emporte-pièce suivant la forme d'un M, dans du papier bristol, puis légèrement carbonisé entre deux plaques de fonte.

Après avoir subi cette première préparation, ce filament est introduit dans l'ampoule de verre ; il est fixé au moyen de boulons minuscules aux fils de platine établissant la communication entre les conducteurs extérieurs et ledit filament intérieur. La soudure avec le verre est opérée au moyen d'un émail qui fond très aisément et fait corps avec les fils de platine.

L'ampoule est purgée de la plus grande partie de l'air qu'elle renferme, au moyen d'une pompe à mercure ; puis elle est remplie de vapeur de gazoline que l'on extrait de nouveau par la même pompe. — Quand la pression ne dépasse pas 30 millimètres de mercure, on intercale le filament dans le circuit. Le courant électrique décompose la gazoline et introduit dans les pores du charbon incandescent des particules de carbone à l'état d'extrême division. On chauffe alors fortement le filament en augmentant l'intensité du courant et on raréfie rapidement les vapeurs de gazoline. Sans cette double précaution, la décomposition de la gazoline serait trop rapide et le carbone ne pénétrerait pas suffisamment dans les pores du filament. Pour obtenir des lampes de même résistance, l'inventeur conseille d'intercaler une lampe normale dans le circuit de la lampe en formation et de laisser déposer du carbone jusqu'à ce que les deux lampes donnent la même intensité lumineuse. Cela fait, on supprime l'introduction de gazoline, et on continue à faire le vide.

Cette opération, qui constitue ce qu'on appelle le *nourrissage* du charbon, est due à M. Maxim ; elle a pour effet d'augmenter et d'égaliser la section du filament par un dépôt dur et très résistant à l'action désagrégeante du courant. Les fils ainsi obtenus présentent une élasticité des plus remarquables.

Presque tous les fabricants de lampes à incandescence ont aujourd'hui recours au nourrissage pour assurer à leurs charbons une durée et une homogénéité qu'ils n'auraient pas sans cela.

L'émail au moyen duquel les fils de platine sont reliés aux filaments de charbon a été combiné par M. Nichols, de New-York ; il donne d'excellents résultats.

La lampe Maxim, qui figurait à l'Exposition de 1881 et qui y tenait un des premiers rangs, ne s'est pas répandue en France malgré ses sérieuses qualités. Une des principales causes de cet insuccès vient du procès intenté par les propriétaires des brevets Edison à l'importateur du système Maxim, procès qui dure depuis plus de six ans et qui n'a reçu encore aucune solution.

Nous avons expérimenté un grand nombre de lampes Maxim et nous avons toujours été satisfait de leur rendement et de leur durée. Dans un de nos essais, nous avons obtenu, sur 50 lampes, une durée moyenne de 844 heures et une consommation de puissance variant entre 5,8 et 3,2 watts par bougie. Ces résultats sont d'autant plus remarquables que nous opérions, à la fin de 1881, sur les premières lampes fabriquées en France, alors que l'outillage n'était pas encore complètement terminé.

Lampes Lane Fox. — Le filament employé dans ces lampes est fait de fibres de bouleau ou de chiendent qu'on emploie ordinairement pour la confection des balais. On nettoie d'abord les fibres par ébullition dans une solution concentrée de potasse caustique, puis on enlève l'écorce extérieure. On tend alors un certain nombre de fibres autour d'un moule en plombagine et on cuit le tout à la chaleur blanche dans un creuset également en plombagine. Après cette cuisson, on carbonise encore les fibres en déposant dans leurs pores des particules de carbone provenant du benzole. A cet effet, on suspend les fibres dans de grands globes remplis de benzole et on les porte à l'incandescence en y faisant passer un courant. Porté au rouge blanc, le filament décompose le gaz, et les particules de carbone se déposent spécialement sur les parties les plus minces puisqu'elles sont les plus chaudes.

C'est, comme on voit, une opération analogue à celle préconisée par M. Maxim et qui consiste à nourrir le filament; dans ses brevets, M. Lane Fox indique qu'elle peut se faire sans la

participation du courant en portant au rouge blanc dans un four le récipient qui contient le benzole et les fibres de chiendent.

Les fibres, ainsi carbonisées, sont garnies à leurs extrémités de petits cylindres en charbon *cc* (Fig. 226) et introduites dans l'ampoule de la manière suivante : chacun des cylindres *cc* reçoit un fil de platine faisant corps avec une double tubulure en cristal à renflement sphérique *aa*, laquelle se termine en cylindre unique soudé à la lampe d'émailleur au col de l'ampoule. Les sphères *aa* renferment du mercure pour établir un contact parfait entre les fils de platine et les fils de cuivre *ee* servant d'attaches à la lampe. Sur le mercure, on place une garniture élastique en ouate *f*, qui empêche son épanchement, et on achève de remplir la capacité *d* en y coulant du plâtre. Le filament lui-même est luté dans les cylindres en charbon à l'aide de petits cônes en encre de Chine.

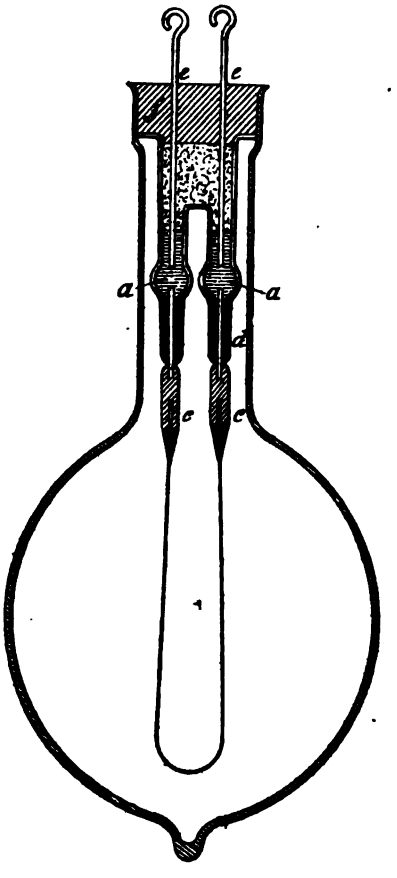


Fig. 226. — Lampe Lane Fox.

Cette fermeture est un peu compliquée ; mais elle est fort originale et assure une excellente communication entre les conducteurs extérieurs et le filament.

Le vide est effectué à l'intérieur des ampoules au moyen d'une pompe à mercure de l'invention de M. Lane Fox et qui paraît peu applicable à une grande exploitation, la principale manœuvre consistant à élever et à abaisser fréquemment un vase rempli de mercure, relié par un tuyau en caoutchouc au corps même de la lampe.

Les compteurs employés par M. Lane Fox pour mesurer le courant absorbé par les lampes consistent, en principe, en un électro-aimant placé en dérivation sur le circuit principal et dont l'armature coulisse dans un guide vertical et agit sur un disque commandé par un mouvement d'horlogerie. Il y a deux disques frottant l'un contre l'autre; le premier tourne avec une vitesse proportionnelle à l'intensité du courant et le second avec une vitesse uniforme : c'est le déplacement relatif de ces deux disques qui permet d'évaluer le courant dans le circuit.

Nous ne connaissons en France aucune application du système Lane Fox.

Lampe Weston. — *Préparation des filaments.* — La matière dont M. Weston compose les filaments de ses lampes est une sorte de cellulose que l'inventeur appelle *tamidine* et qui s'obtient de la manière suivante : on prépare d'abord une sorte de fulmi-coton assez épais en traitant du papier par un mélange d'acide sulfurique et d'acide nitrique; puis on dissout le fulmi-coton et on évapore jusqu'à consistance solide. On coupe ensuite la matière en feuilles de $0^{mm},15$ d'épaisseur, qu'on plonge dans l'ammoniaque pendant une heure environ, après quoi on les lave et on les sèche avec soin.

Ces feuilles sont transparentes, flexibles, très résistantes; elles ont acquis toutes les propriétés de la cellulose. Pour terminer, on les chauffe, dans une moufle, à une température élevée, et on obtient un filament d'une grande résistance électrique et d'une parfaite homogénéité.

Mise en place des filaments. — Les fils de platine, terminés par des boucles de jonction, sont introduits dans un culot en verre qui se soude à l'ampoule pour fermer sa partie inférieure, et la connexion des boucles et des filaments a lieu au moyen de petits boulons. La tamidine ayant été découpée à l'emporte-pièce, on a réservé, aux deux bases, de larges plaques, afin d'assurer un bon contact électrique entre le platine et la cellulose.

Établissement du vide. — Les ampoules contenant les filaments sont montées par séries de 10 sur deux tuyaux à trois

Fig. 227. — Lampe Weston.

branches et mises en communication avec un ballon d'anhydrite phosphorique destiné à absorber la vapeur d'eau contenue dans toutes les parties de l'appareil. Un tube en U, terminé par deux ballons placés à des hauteurs différentes, est également en communication avec les ampoules et avec un tube muni d'une soupape ou bouchon flottant.

Le mercure, amené par une conduite générale, remplit en grande partie le ballon inférieur. Le ballon supérieur est mis en communication avec une pompe auxiliaire à vide qui commande simultanément plusieurs appareils. Ce vide a pour conséquence de faire monter le mercure du ballon inférieur dans le ballon supérieur. Quand celui-ci est plein, au moyen d'une manœuvre de robinet, on modifie les communications, de manière à ce que la pompe aspire l'air du ballon inférieur et force le mercure à revenir dans ce ballon. L'air contenu dans les ampoules vient remplir le ballon supérieur; on rétablit alors la communication première et la pompe aspire dans ce ballon, tandis que le ballon inférieur soumis à la pression atmosphérique abandonne pour la seconde fois le mercure qui retourne remplir le ballon supérieur. Par une suite de manœuvres semblables, on peut obtenir un vide aussi parfait qu'on le désire.

Quand le vide des lampes est suffisant, on fait passer un courant qui porte au rouge les filaments; puis, on continue à faire le vide en augmentant peu à peu l'intensité du courant jusqu'à ce que la température soit un peu supérieure à celle qui correspond au régime normal des lampes. On enlève ainsi les gaz et l'humidité contenus dans les pores du charbon. Le courant est distribué dans chaque lampe au moyen de rhéostats permettant d'enlever et de remplacer autant de lampes qu'on veut, sans modifier en rien l'intensité du courant qui passe dans les autres lampes.

Douille à clef. — La figure 227 représente l'ensemble de la lampe Weston, et la figure 228 une coupe longitudinale de l'embase, montrant les attaches des fils et la clef de commutation.

La douille se compose d'un socle métallique sur lequel est fixé, à charnière, un levier de contact, lequel est constamment poussé par deux ressorts. Une came, échancrée aux deux

extrémités de son grand axe, repose sur un petit galet de roulement placé à l'extrémité du levier.

Dans la position représentée (Fig. 228), le circuit est fermé sur la douille; la lampe est par suite éteinte.

Lorsqu'on tourne légèrement la clef, les ressorts agissent sur la came à la façon d'une détente, et ils achèvent le mouvement de rotation de cette came aussitôt que l'échancrure n'embrasse plus le galet de roulement; les deux fils d'arrivée sont alors isolés l'un de l'autre et le courant, traversant le filament, alimente la lampe.

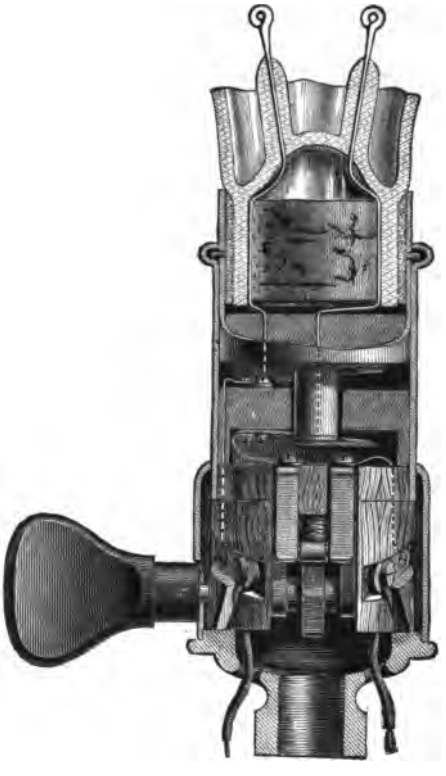


Fig. 228. — Douille à clé Weston.

Les lampes Weston, qui jouissent d'une grande faveur aux États-Unis, sont peu usitées en France, et cela pour les mêmes motifs qui retardent le développement des lampes Maxim, la même Société d'exploitation possédant les brevets français de Maxim et de Weston.

La Société Américaine, au contraire, prend de jour en jour une extension plus considérable. Elle fabrique des lampes de 16 à 600 bougies. Dans les rues de New-York, elle place avec succès des lampes de 125 bougies, pourvues extérieurement d'une résistance compensatrice correspondant exactement à leur résistance propre. Ces lampes prennent 2, 3 ampères, sous 160 volts; ce qui correspond à 3 watts environ par bougie.

Dans les expériences faites au *Franklin Institute* sur 20 lampes Weston de 16 bougies, on a constaté les résultats suivants :

Intensité en ampères 0,530;
Différence de potentiel en volts..... 111;
Pouvoir lumineux moyen en bougies.. 16,27;
Watts par bougie..... 3,63.

Sur les 20 lampes, 6 seulement durèrent 1 065 heures, c'est-à-dire pendant tout le temps de l'expérience.

Lampes Bernstein. — M. Bernstein, de Boston, guidé par des considérations essentiellement pratiques, préconise les lampes à faible chute de potentiel et à courant de grande intensité; il a créé plusieurs types de lampes réalisant ces conditions et contenant presque toutes un filament creux.

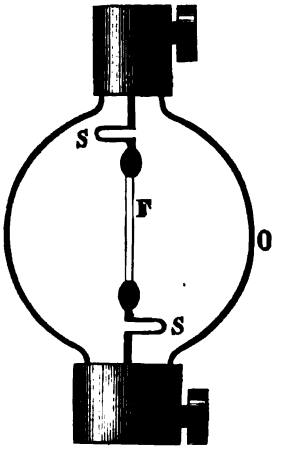


Fig. 229. — Lampe Bernstein.

Ce filament, qui était primitivement recourbé en fer à cheval, est obtenu par la carbonisation d'un ruban creux de soie blanche, analogue comme tissage au guipage de soie qui entoure certains conducteurs d'appareils médicaux. Ce petit tube est composé d'une grande quantité de filaments, solidement réunis entre eux par suite du tissage du ruban.

Les extrémités du filament sont attachées aux fils de platine au moyen de petites masses d'émail. A la partie inférieure se trouvent scellés un tube en laiton et une vis centrale, reliés chacun à un des fils de platine.

C'est avec une lampe de ce système qu'on a obtenu, à l'Exposition de Vienne de 1883, une lumière de 60 becs carcels avec une puissance de 600 watts. Il est vrai que le filament s'est rompu au moment où cette intensité était obtenue.

La figure 229 représente la forme que l'inventeur a adoptée en 1885.

La lampe consiste en un globe en verre O, un peu ovale, aux extrémités duquel sont fixés les fils de platine. Le charbon est constitué par un tube droit F monté sur de petites pièces de platine reliées à des bandes de cuivre S S repliées sur elles-mêmes, de

manière à présenter une grande élasticité dans le sens vertical du charbon. Ces bandes sont fixées à deux autres fils de platine traversant la lampe. Un manchon en substance isolante, placé à chaque extrémité du globe, sert à protéger les communications entre les conducteurs extérieurs et le filament.

En service normal, ces lampes exigent un courant de 9,75 ampères et une différence de potentiel de 7 volts aux bornes.

Plus récemment encore, M. Bernstein, tout en conservant la

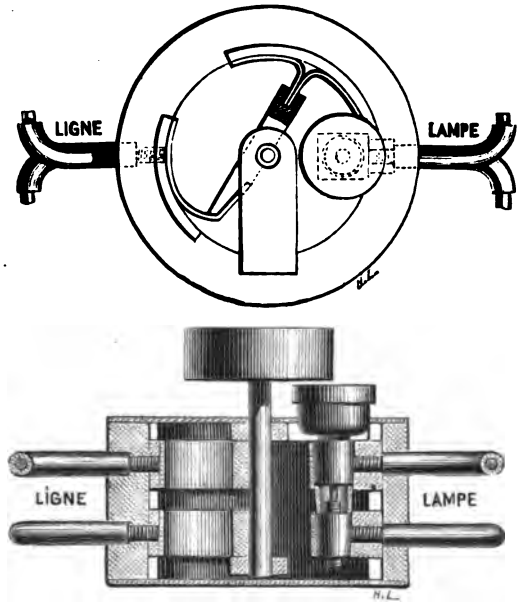


Fig. 230 et 231. — Commutateur Bernstein.

forme de sa lampe à petite résistance, en a modifié complètement le filament. Le tube de soie carbonisée est remplacé par un véritable charbon dense, dur et de section uniforme, obtenu par la décomposition d'un carbure d'hydrogène. A cet effet, l'inventeur se sert d'un vase rempli de carbure au fond duquel se trouve une plaque de cuivre reliée à l'un des pôles d'un générateur d'électricité. L'autre pôle de ce générateur communique avec un fil métallique disposé de manière à toucher la plaque de cuivre et à pouvoir en être éloigné par un mouvement très lent. Dès que ce fil s'écarte de la plaque, il se produit entre les deux pièces un arc lumineux, et l'extrémité du fil devient incandescente.

Le carbure d'hydrogène environnant se décompose, et il se forme à la pointe du fil un dépôt de charbon dont on augmente la longueur en éloignant progressivement le fil de cuivre. La décomposition du carbure par l'arc voltaïque est d'une conception bien originale; nous ignorons si elle est réellement pratique. Toujours est-il que les lampes Bernstein, à charbon plein, produisent une lumière très brillante et ont une longue durée.

Ces lampes, qui fonctionnent toujours en série, sont accompagnées d'un commutateur (Fig. 230 et 231) qu'on peut considérer comme un appendice indispensable.

En voici la description :

Fig. 232. — Détail du commutateur.

Un petit cylindre creux en ébonite, fermé sur les deux faces parallèles, contient quatre amorces de fils conducteurs, deux communiquant avec la ligne et deux avec les fils de la lampe.

La tige centrale, isolée de toutes les autres pièces, est munie extérieurement d'une poignée de manœuvre et intérieurement de deux lames métalliques courbes. Ces lames, dans une certaine position de la poignée, relient les fils de la ligne aux fils de la lampe. Lorsqu'on fait faire un quart de tour à la poignée, les deux pièces métalliques s'arrêtent dans la position d'isolement; mais, auparavant, une troisième pièce métallique établit la communication directe entre les deux fils de la ligne, de sorte qu'il est impossible d'éteindre une lampe sans avoir préalablement fermé le circuit principal.

Les fils qui conduisent à la lampe sont en connexion avec les deux parties d'un organe de forme conique que nous représentons en détail (Fig. 232).

Les deux parties de cet organe sont isolées électriquement l'une de l'autre, pendant que la lampe est en service courant. La partie inférieure porte un petit godet rempli d'un mélange d'oxyde de mercure et de poussier de charbon et la partie supérieure est terminée par une aiguille métallique qui plonge dans cette composition. Cette communication à travers une sub-

stance très résistante (500 ohms environ) laisse généralement passer un très faible courant. Mais, si la lampe casse, la dérivation est instantanément traversée par un courant beaucoup plus intense qui produit dans la couche d'oxyde de mercure un dégagement de chaleur relativement considérable. Cette chaleur réduit l'oxyde et forme une certaine quantité de mercure métallique, laquelle supprime immédiatement la grande résistance intercalée entre les deux parties du cône de sûreté et permet au courant de circuler dans les conducteurs sans changement d'intensité.

Ce petit appareil est remplacé avec la lampe et garni de nouveau du mélange résistant. Il fonctionne si bien que, quand une lampe casse, on n'aperçoit aucune variation dans l'éclat des autres.

Dans ses dernières installations, M. Bernstein emploie des machines Gramme de 1 000 volts et de 10 ampères, et place 100 lampes sur le même circuit. Quand les circuits sont longs et qu'il a besoin de plus de 100 lampes, il couple deux machines en tension, ce qui lui permet de produire 200 foyers d'environ 25 bougies chacun avec une dépense minima de conducteurs.

Lampes Cruto. — Ces lampes sont caractérisées par un filament à âme de platine dont voici le mode de fabrication[1] :

Un fil de platine à la Wollaston de $\frac{1}{100}$ de millimètre de diamètre, coupé de longueur, est saisi à ses deux extrémités par des pinces métalliques isolées l'une de l'autre et montées sur un support *ad hoc*.

Ainsi suspendu et fixé, le fil de platine est enfermé dans une ampoule à circulation lente de bicarbure d'hydrogène sensiblement pur et exempt d'air.

On lance un courant convenable dans le fil de platine qui décompose le bicarbure d'hydrogène, se combine d'abord avec le carbone et l'hydrogène et forme un carbure de platine hydruré. (Le rôle de l'hydrogène dans ces premières décompositions est peut-être même prépondérant, étant données les affinités bien connues du platine pour ce gaz.)

1. Nous empruntons la description suivante à M. Desroziers, ingénieur civil des mines.

Ce premier carbure de platine hydruré décompose à son tour le bicarbure d'hydrogène et se combine avec le carbone. Par des décompositions et recompositions successives de ce genre, il se forme ainsi une série de gaines de composition de plus en plus constante, si l'on prend quelques soins de fabrication.

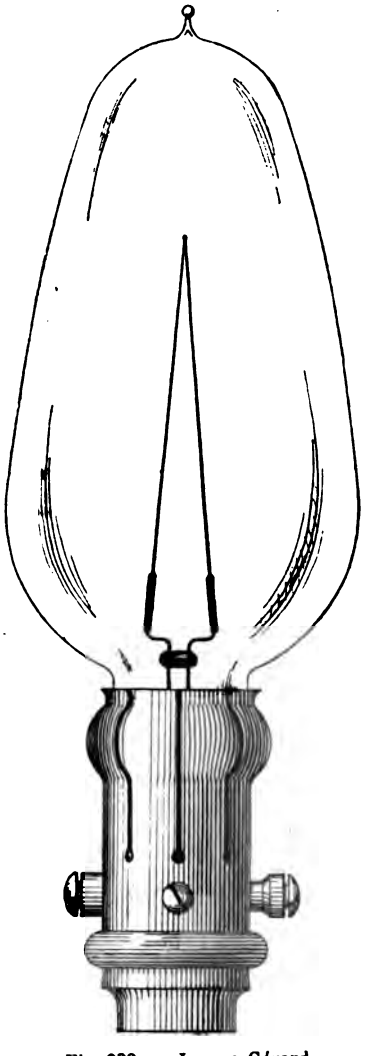


Fig. 233. — Lampe Gérard.

Au bout de très peu de temps, le filament est sensiblement homogène. Le filament de 0,15 millimètre de diamètre, par exemple, peut être considéré comme tel, sauf une très petite colonne centrale, où la composition chimique moléculaire varie suivant sa distance à l'axe du filament.

Grâce à un système ingénieux de vérifications électriques, faciles à faire en plein cours de travail, on peut arrêter la fabrication au moment précis où le charbon a le diamètre désiré.

Une fois terminé, le filament est fixé par une soudure charbonneuse spéciale sur des supports de platine. Cette soudure est obtenue, comme le filament, par la décomposition du bicarbure d'hydrogène, ce qui la rend excellente.

Les supports sont alors scellés dans une ampoule qui, préparée en conséquence, est placée sur les pompes.

Une fois un vide suffisant obtenu, le courant est lancé dans le filament, d'abord faible, puis plus intense. Au bout d'un certain temps l'opération est terminée; il ne reste plus qu'à fermer la lampe.

Suivant certains auteurs, le courant envoyé dans le filament sur les pompes est suffisant pour volatiliser le platine, et il resterait simplement un tube de carbone. Cependant, si l'on casse des filaments et qu'on examine leur section au microscope sous des grossissements de 40 diamètres, on ne peut voir le moindre trou; la matière est, au contraire, absolument continue et a l'aspect uni d'une cassure de silex. Le microscope permet aussi de constater la formation du charbon en gaines concentriques. Certains charbons, en effet, se cassent non seulement suivant une sorte de section droite, mais encore en même temps suivant des plans méridiens, et les gaines successives s'exfolient à partir des lignes de cassure, quelquefois même sur près de la moitié de la surface.

Les lampes Cruto se vendent, en 1887, 5 francs l'une. Voici un tableau résumant les types en vente :

TYPES	POUVOIR ÉCLAIRANT en bougies.	NOMBRE de VOLTS.	INTENSITÉ APPROXIMATIVE en ampères.	RÉSISTANCE A CHAUD en ohms.	NOMBRE DE LAMPES par cheval électrique.
1	8	27	1,10	24,5	25,0
2	10	54	0,65	83,0	21,0
3	10	105	0,45	235	16,0
4	16	54	1,10	49,0	12,5
5	16	70	0,90	77,7	12,0
6	16	105	0,62	169,2	11,5
7	32	105	1,05	100,0	6,8
8	50	54	2,50	21,6	5,5
9	50	103	1,70	60,0	4,1
10	100	106	2,50	42,4	2,8
A	8	14	3,00	4,7	18,0
B	4	14	1,20	11,6	44,6
C	4	7	3,00	2,3	35,6
D	2	7	1,20	5,8	90,0

Lampes Gérard. — Dans les lampes Gérard (Fig. 233), le filament ne provient pas d'une fibre végétale, il est fait de coke soigneusement trié, réduit en poudre fine, mélangé avec des

matières gommeuses à consistance de pâte, fortement comprimé et passé à la filière, comme les charbons destinés à l'arc voltaïque. Un traitement spécial et tenu secret donne aux filaments une grande ténacité et une parfaite homogénéité.

Au lieu d'être courbé, comme dans les lampes précédemment décrites, le filament se compose de deux petites baguettes convergentes et soudées à leur partie supérieure par une petite goutte de pâte de charbon.

Les lampes Gérard n'ont qu'une résistance assez faible; elles exigent donc des courants relativement intenses sous faible force électromotrice.

Voici le tableau des lampes Gérard livrées au commerce en 1887:

TYPES	POUVOIR ÉCLAIRANT en bougies.	NOMBRE de VOLTS.	INTENSITÉ APPROXIMATIVE en ampères.	RÉSISTANCE A CHAUD en ohms.	NOMBRE DE LAMPES par cheval électrique.
00	8	17	2,1	8,1	21
0	15	20	2,2	9,1	17
1	20	25	2,3	11,0	15
2	32	33	2,5	13,2	9

Nous avons expérimenté, à plusieurs reprises, une série de ces lampes. Les résultats ont été satisfaisants au point de vue de la durée et de la beauté de la lumière, mais un peu inférieurs à ceux annoncés par les fabricants, au point de vue de l'intensité lumineuse.

La douille des lampes Gérard est simple ; elle assure un excellent contact des deux extrémités du filament avec les bornes destinées à recevoir les conducteurs, et permet de remplacer les lampes très facilement et très rapidement.

Lampes Woodhouse et Rawson. — Ces lampes sont très connues en Angleterre et en France où elles se vendent couramment; mais leur mode de fabrication est resté secret. Le filament est en forme de ruban; il est constitué, dit-on, avec du coton et renforcé par le dépôt d'un hydrocarbure quelconque

décomposé par le courant. Le rendement est très satisfaisant, puisque les inventeurs garantissent une consommation de 2, 5 watts seulement par bougie.

La durée est moins connue; cependant nous croyons que, avec l'éclat obtenu au moyen du courant indiqué par les fabricants, la durée moyenne ne doit pas dépasser 500 à 600 heures.

Le support des lampes Woodhouse et Rawson est représenté (Fig. 234); il est fabriqué avec une composition noire et dure, appelée *vitrite,* qui ressemble à l'ébène et n'est pas attaquée par l'humidité ni même par l'eau salée.

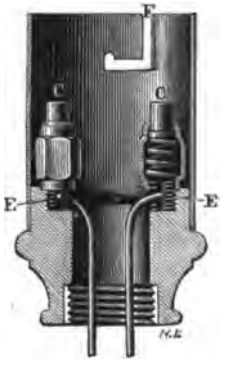


Fig. 234.

Fig. 235.

Support Woodhouse et Rawson.

Un bouton de cette substance est adapté aux lampes (Fig. 235) et traversé par deux bornes BB qui sont reliées au filament. Les goupilles AA sont introduites dans deux ouvertures à baïonnette F, et les bornes BB viennent butter sur les contacts électriques CC auxquels sont reliées les extrémités EE des fils conducteurs. Lorsque les goupilles AA sont parvenues aux extrémités des entailles horizontales, la pression des ressorts les fait loger dans des encoches qui empêchent la lampe de sortir, quand même elle serait exposée à d'intenses vibrations.

Lampes Puluj. — Ces lampes ont leur charbon constitué par du chanvre de Manille. On donne au fil de chanvre la forme d'un trèfle au moyen d'une plaque sur laquelle sont disposés cinq goujons formant les angles arrondis du filament. Ce filament est ensuite placé dans un bain d'huile minérale et porté à l'incandes-

cence par le passage d'un courant électrique. La carbonisation s'opère très régulièrement ; la surface du fil est très lisse ; sa ténacité exceptionnelle.

On galvanise ensuite les bouts aplatis du filament et on les soude aux fils de platine contournés préalablement en spirales.

La soudure est faite à l'argent sur dépôt de cuivre.

Lampes Lodyguine. — Ces lampes ne sont pas encore fabriquées industriellement ; mais les premiers échantillons, obtenus dans un atelier provisoire, paraissent extrêmement remarquables au point de vue du rendement lumineux.

Le procédé, indiqué par l'inventeur dans ses brevets d'invention, consiste à employer du fluorure de bore dans la préparation des filaments pour déshydrater les substances organiques qui contiennent les éléments de l'eau chimiquement combinés ; puis à éliminer, à l'abri de l'air, par une grande élévation de température, le fluorure de bore en excès et les produits de sa réaction sur la matière première.

Ainsi préparé, le carbone est saturé avec une solution de sucre ou de glucose ; puis on recommence le traitement au fluorure de bore. Cette série d'opérations se renouvelle plusieurs fois.

Le tableau suivant indique la lumière produite, en régime normal, par des lampes Lodyguine placées sur des circuits sous 40 et 50 volts :

1re SÉRIE : 40 VOLTS — AMPÈRES.	2e SÉRIE : 50 VOLTS — AMPÈRES.	INTENSITÉ LUMINEUSE EN BOUGIES.
0,42	0,354	10
0,84	0,68	20
1,25	1,00	30
2,00	1,60	50
2,30	1,85	100
4,50	3,60	200
6,00	4,78	300
8,20	6,59	400

Nous n'avons d'autres documents sur la durée des lampes qu'une série de tableaux publiés par M. Lodyguine qu'il nous paraît inutile de reproduire, puisque la fabrique de ces lampes n'est pas encore en activité. De nos expériences personnelles il résulte que certaines lampes résistent très longtemps (plusieurs centaines d'heures) au régime indiqué dans le tableau précédent, tandis que d'autres brûlent presque de suite. Cela ne saurait indiquer autre chose qu'une grande irrégularité de fabrication, laquelle irrégularité s'explique d'ailleurs très bien par l'installation tout à fait primitive mise à la disposition de l'inventeur. Nous avons lieu d'espérer que, avec un outillage perfectionné, il arrivera à produire des lampes régulières, durables et extrêmement économiques.

Lampes Siemens. — Grâce aux excellentes conférences faites par M. Wilhelm Siemens à la Société électrotechnique de Berlin, nous avons des renseignements précis sur le rendement des lampes Siemens; mais nous connaissons peu leur mode de fabrication.

Nous savons que MM. Siemens frères, de Charlottenburg, emploient des filaments en papier carbonisé et qu'ils en cimentent les extrémités avec des fils de cuivre en spirales, au moyen d'une pâte goudronneuse, lesquels fils de cuivre sont soudés à des fils de platine pour traverser l'ampoule.

Nous savons aussi que MM. Siemens et Halske nourrissent les filaments dans une atmosphère de carbure d'hydrogène, suivant la méthode de M. Maxim; mais nous ignorons la nature des fibres constituant ces filaments.

Pour éviter les bouts renflés des filaments, dont il est difficile de chasser les dernières traces d'air, MM. Siemens et Halske aplatissent les extrémités des fils de platine, les enroulent en spirales étroites et logent dans l'intérieur de ces spirales les bouts lisses des filaments. Le contact intime entre le platine et le charbon s'obtient à l'aide d'un dépôt de cuivre et de nickel sur le joint, les spires les plus rapprochées de la partie incandescente restant libres de tout dépôt galvanique. De cette façon, le platine ne risque pas de se volatiliser.

LAMPES SIEMENS FRÈRES (TYPES COURANTS)

NUMÉROS.	VOLTS.	AMPÈRES.	INTENSITÉ LUMINEUSE.
1	45	2,3	16 bougies.
2	45	2,7	20 —
3	45	3,0	25 —
4	45	3,3	30 —

LAMPES SIEMENS ET HALSKE (TYPES NOUVEAUX)

NUMÉROS.	VOLTS.	AMPÈRES.	INTENSITÉ LUMINEUSE.	RÉSISTANCE A CHAUD en ohms.
1 *a*	25	0,77	5 bougies.	32,7
1	50	0,55	8 —	91,0
2	100	0,39	10 —	256,0
2	65	0,54	10 —	120,0
4	120	0,50	16 —	240,0
4	100	0,53	16 —	189,0
4	65	0,77	16 —	84,4
4	50	1,06	16 —	47,2
6	120	0,75	25 —	160,0
6	100	0,77	25 —	130,0
6	65	1,17	25 —	55,5
8	100	1,12	35 —	89,3
10	100	1,50	50 —	66,6

Lampes à grande intensité lumineuse. — Les premières Sociétés qui se sont formées pour exploiter les lampes électriques à incandescence ont eu pour principal objectif de faire concurrence au gaz. Elles ont cherché, non seulement à éclairer les locaux nouvellement construits et privés de toute installation de lumière artificielle, mais encore et surtout ceux déjà agencés au gaz. Cette manière de procéder les a naturellement amenées à

produire des lampes dont l'intensité ne dépassât guère celle des becs de gaz afin d'utiliser l'appareillage existant. Exceptionnellement elles ont fabriqué des lampes de 50 et même 100 bougies ; mais la demande de ces lampes a été si restreinte jusqu'à ces derniers temps qu'il semblait que cette intensité ne répondît pas à un besoin réel. Ajoutons que les lampes à *forte lumière* duraient beaucoup moins longtemps que les lampes ordinaires et que, souvent mal disposées, elles nuisaient à la beauté de l'éclairage général. En fait, les lampes de 10 et de 16 bougies donnent d'excellents résultats dans les intérieurs, et leur usage s'est développé si rapidement qn'on ne pensa guère à créer d'autres types.

Cependant des Sociétés récemment formées se donnèrent un autre objectif. Elles se proposèrent d'opposer l'incandescence, non plus au gaz, mais à l'arc voltaïque pour éclairer les grands espaces.

Ces Sociétés étudièrent la question sous ce nouvel aspect et se lancèrent d'une manière exclusive dans la fabrication des grosses lampes. Après une série de tentatives infructueuses elles sont parvenues aujourd'hui à livrer les lampes de 200, 400, 600 et même 1 000 bougies, durant 800 heures et ne dépensant que 2 watts par bougie.

Parmi ces lampes à grande intensité nous citerons celles de MM. Clarke, Chapman et Parsons qui figuraient, au nombre de 400, à l'Exposition de Newcastle, en 1887, où elles éclairaient l'ensemble des bâtiments. Ces lampes sont employées actuellement au théâtre du Châtelet à Paris.

Nous nous bornons à signaler ces lampes, sans entrer dans aucun détail sur leur construction et leur usage, la pratique n'en ayant pas encore suffisamment sanctionné les avantages entrevus par les inventeurs.

CHAPITRE XIV

CONDUCTEURS

Lignes électriques. — Les lignes électriques, qui servent à transporter les courants des générateurs où ils sont engendrés aux foyers où ils sont utilisés, comportent essentiellement des conducteurs métalliques généralement en cuivre, des corps isolants, des appareils de contrôle et de sûreté, des commutateurs, des rhéostats, des supports et divers organes accessoires. Elles se divisent en trois classes : les *lignes aériennes,* les *lignes souterraines* et les *lignes sous-marines.* Ces dernières ne sont employées que très exceptionnellement (pour les installations de ports de mer, par exemple) dans l'industrie de l'éclairage.

Les lignes aériennes sont formées de fils métalliques nus ou garnis d'un isolant et supportés soit par des clous ou pitons émaillés, soit par des isolateurs en porcelaine ou en verre.

Les lignes souterraines ou sous-marines sont formées d'une série de fils isolés au moyen d'un revêtement continu en caoutchouc, gutta-percha, coton paraffiné, etc.., et protégés, le plus souvent, par une armature en fil de fer ou d'acier.

Dans les grandes villes, les installations publiques d'éclairage électrique se font généralement au moyen de lignes souterraines pour des raisons d'esthétique et de sécurité, malgré les dépenses souvent considérables qu'elles nécessitent.

Conducteurs. — Les conducteurs peuvent également être divisés en deux classes : les *fils* et les *câbles.* Le métal employé, aussi bien dans les fils que dans les câbles, est du cuivre, dont la conductibilité atteint aujourd'hui industriellement de 92 à 99

pour 100 de celle de l'argent. (A partir de 95 pour 100, le métal est désigné sous le nom de *cuivre de haute conductibilité*).

Fabrication des fils. — Sous le nom de *fils*, on entend spécialement les conducteurs qui entrent dans la construction des appareils : dynamos, régulateurs, instruments de mesures, etc.., et dans les lignes aériennes de faible débit. Ces conducteurs sont généralement formés d'un fil unique recouvert d'une ou de plusieurs couches de coton ou de soie.

Le cuivre étant étiré à un diamètre bien régulier et les brins filés de coton ou de soie réunis, sans torsion, en un fil plat plus ou moins gros, le revêtement du cuivre s'opère à l'aide d'un métier tout à fait analogue aux métiers à passementerie. L'âme en cuivre légèrement tendue, de manière à ne subir aucun allongement qui en diminuerait la section, avance d'une manière continue, tandis que la bobine de coton ou de soie tourne horizontalement autour d'elle en la *guipant* d'une couche isolante bien régulière, grâce à la coordination des mouvements du métier.

Cette opération se fait à la main ou mécaniquement; certains vieux praticiens très soigneux préfèrent les anciens métiers à main à ceux plus récents qui suppriment tout travail musculaire et qui font beaucoup plus de besogne en moins de temps.

Suivant le degré d'isolement demandé, on applique une deuxième et même une troisième couche d'isolant dont on alterne le sens d'enroulement pour assurer la régularité de la couverture dans toutes ses parties.

Chaque couche de coton augmente le diamètre du fil de 0,30 millimètre et chaque couche de soie augmente ce diamètre de 0,10 millimètre.

Après avoir reçu cette couverture, le fil est passé, soit chez le fabricant, soit chez le consommateur, dans un bain liquide de bitume de Judée ou de gomme laque qui le protège contre l'action conductrice et destructive de l'humidité.

Fabrication des câbles. — Les câbles sont formés d'un certain nombre de brins métalliques isolés préalablement, puis groupés ensemble, ou plus généralement réunis en faisceau ou en

toron avant d'être revêtus de leur enveloppe isolante. Le nombre de ces brins est quelquefois très grand et leur diamètre très faible, quand on veut obtenir la souplesse nécessaire dans certains cas particuliers. Plusieurs fabricants se servent, pour les brins de conducteurs ordinaires, de fils ayant un diamètre uniforme de 1,14 millimètre, correspondant à un millimètre carré de section. L'assemblage d'un nombre donné de ces brins constitue un câble dont la section exacte en millimètres carrés est facile à obtenir et à contrôler.

Dans la généralité des cas, les fils qui doivent constituer le câble sont enroulés sur autant de tambours différents, puis tordus ensemble à l'aide d'une machine à câbler, laquelle machine, analogue également à celle des passementiers, les réunit sans tension ni compression de nature à augmenter leur résistance normale.

Le toron ainsi préparé peut être revêtu d'enveloppes en coton ou en soie, maintenues par un ruban bitumé appliqué de la même manière; cela suffit pour les endroits secs. Mais, lorsque les conducteurs sont exposés à l'humidité, leur isolement et leur protection doivent être mieux assurés. On a recours, dans ce cas, à diverses substances, telles que chanvre, jute, tresses de coton, caoutchouc, gutta-percha, revêtements de plomb, de fils ou rubans de fer ou d'acier, etc., ces matières étant judicieusement superposées sur le toron. Ces revêtements, à l'exception de ceux en gutta-percha et en plomb, s'effectuent au moyen de métiers.

Le caoutchouc et la gutta-percha sont les meilleurs isolants industriels connus. Le contact direct du caoutchouc et du cuivre, dans certaines circonstances, est nuisible; on doit donc l'éviter. Pour cela, on se sert de cuivre étamé ou on interpose, entre le cuivre et le caoutchouc, un ruban de coton enduit de bitume.

Les fils, en traversant le métier où ils se câblent, reçoivent d'une bobine latérale le ruban bitumé, et d'une seconde bobine un ruban de caoutchouc pur, non vulcanisé, de 0,1 millimètre d'épaisseur et de largeur variable suivant la grosseur du câble. Ces deux rubans sont enroulés en sens inverses, en même temps que le métier tresse par dessus le tout une gaine protectrice en coton.

Certaines applications exigent la superposition de deux et même de trois garnitures semblables, qu'on dispose successivement en sens alternés, de la même manière qu'il vient d'être dit.

La gutta-percha, ne pouvant être appliquée qu'à l'état pâteux et à chaud, est soumise à l'action d'une presse hydraulique dans un récipient maintenu à une température convenable. Elle s'échappe du récipient par un ajutage de diamètre proportionné à l'épaisseur d'isolement désirée, tandis que le toron de cuivre est lui-même guidé par un autre ajutage lui assurant une parfaite concentricité avec l'enveloppe isolante. Ainsi constitué, le câble est ensuite protégé par une couverture formée de substances textiles, appliquées comme précédemment.

Il est quelquefois utile de garnir le câble de plusieurs gaines de gutta-percha; dans ce cas, les gaines successives sont cimentées ensemble par une composition appelée *chatterton* et formée, comme nous l'avons déjà dit, de trois parties de gutta-percha, une partie de résine et une partie de goudron de Stockholm.

Armatures en fil de fer ou d'acier. — Les armatures de fil de fer ou d'acier dont certains câbles sont munis sont enroulées sans pression sur les précédentes enveloppes au moyen de métiers dont la puissance et les dimensions varient avec la raideur des matériaux employés.

Garnitures en plomb. — On effectue le revêtement en plomb usité dans un grand nombre d'applications, de deux manières : à l'aide de la presse hydraulique, en prenant certaines précautions pour que l'élévation de la température n'altère pas les isolants intérieurs, ou bien en enfilant le câble dans un tuyau de plomb d'un diamètre intérieur un peu plus grand que le diamètre extérieur du câble, puis en passant le tout dans une filière bien centrée qui fait adhérer le plomb au câble.

Câbles Berthoud-Borel. — MM. Berthoud et Borel fabriquent des câbles garnis de plomb par un procédé spécial dont nous trouvons la description complète dans le journal *la Lumière électrique*, de 1887.

Voici le résumé des opérations qui constituent ce procédé :

Le conducteur en cuivre, recouvert d'une ou de plusieurs couches de coton, chanvre ou autre matière textile, est enroulé sur un tambour de tôle perforée. Ce tambour est plongé tout entier dans une chaudière remplie d'huile de lin oxydée, mélangée avec de la résine et portée à la température de 180 degrés centigrades.

Aussitôt après l'immersion, il se dégage de grosses bulles d'air chaud; puis, il apparaît sur la surface liquide une sorte d'écume provenant de l'humidité expulsée sous forme de vapeur. Le câble reste immergé jusqu'à ce que la surface du bain soit devenue tout à fait calme et qu'il ne se dégage plus aucune bulle.

Le tambour est alors placé dans une caisse fermée, puis transporté vers une presse qui le recouvre d'une gaine de plomb ayant l'épaisseur déterminée par le diamètre du câble. Le conducteur n'a à parcourir dans l'air qu'un chemin de quelques mètres; et, comme il est très chaud, il ne s'y dépose aucune humidité. Cependant, pour écarter d'une manière complète tous les accidents qui pourraient encore provenir de la présence de l'humidité, la broche de la presse, au travers de laquelle passe le conducteur, est elle-même surmontée d'une petite chaudière auxiliaire remplie de la matière isolante contenue dans la chaudière principale, laquelle matière est maintenue constamment en ébullition.

La presse est construite de manière à permettre de recouvrir des longueurs considérables de câbles sans aucune soudure de la gaine en plomb.

Le seul défaut qui puisse subsister, malgré toutes les précautions prises, provient de la présence de trous dans la gaine de plomb; mais ces trous se produisent très rarement avec du plomb de bonne qualité, et on les découvre très facilement en examinant le câble. Pour supprimer les dangers pouvant provenir de ces trous, les inventeurs recouvrent le câble d'une seconde enveloppe de plomb, en interposant entre les deux enveloppes une couche mince de brai gras, provenant de la distillation du goudron de gaz.

Pour préserver les extrémités des câbles de toute détério-

ration, MM. Berthoud et Borel les revêtent d'un manchon en ébonite, s'adaptant aisément sur le plomb extérieur et laissant passer l'âme en cuivre. L'espace annulaire compris entre le manchon et le câble est ensuite rempli avec de la paraffine fondue donnant une fermeture parfaitement étanche.

Câbles Siemens. — Les câbles conducteurs souterrains pour lumière électrique fabriqués par la maison Siemens sont à gaine de plomb recouverte d'une couche isolante, laquelle couche est elle-même entourée d'une enveloppe constituée par deux rubans

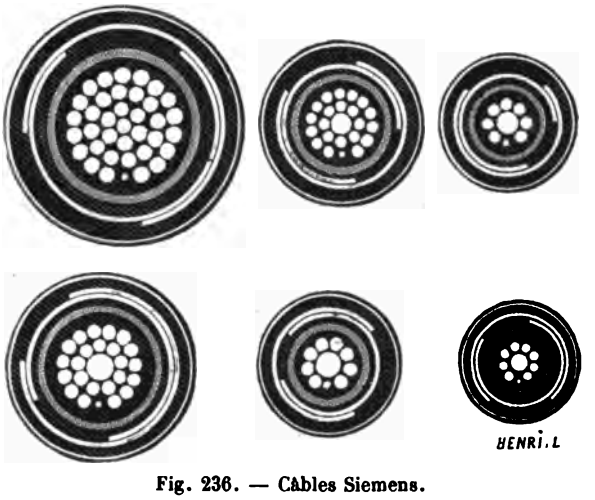


Fig. 236. — Câbles Siemens.

de fer à spires non jointives, enroulés hélicoïdalement et simultanément autour du câble ; le tout est enfin recouvert de jute goudronné.

La figure 236 représente une série de sections faites dans les câbles de modèles courants.

La gaine de plomb est appliquée à froid dans des presses marchant sous une pression de 150 à 200 atmosphères.

Tout le long du câble se trouve placé, à l'intérieur, un fil isolé, plus mince que chacun de ceux composant le conducteur et qui sert de fil de retour pour la mesure des tensions lorsque le câble est en service.

Conducteurs Edison. — Les conducteurs Edison pour canali-

sations souterraines s'établissent au moyen de barres de cuivre enfermées dans des tubes en fer. La forme et la disposition des barres comprennent deux systèmes.

Premier système. — Dans le premier système, on se sert de tringles demi-cylindriques, c'est-à-dire plates d'un côté et rondes de l'autre. Elles sont empâtées dans une substance isolante contenue dans les tubes en fer et se font face par leur côté plat.

Les tubes en fer sont soudés à recouvrement et revêtus d'un ruban goudronné, destiné à les préserver de l'oxydation.

Les deux tringles sont d'abord placées en regard l'une de l'autre et maintenues à écartement convenable au moyen de petits disques en carton découpé, imprégnés de matière isolante. Ces

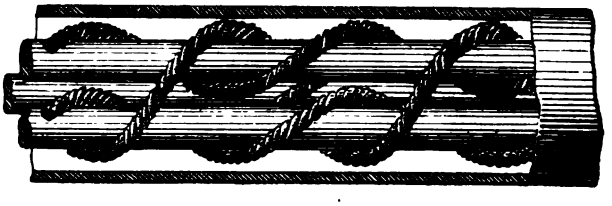


Fig. 237. — Conducteurs Edison.

petits cartons sont reliés entre eux par une ficelle servant à conserver leurs distances. On glisse le tout dans le tube en fer et on coule la matière isolante.

Ces conducteurs Edison sont préparés, par longueurs de six mètres, sur sept types de diverses grandeurs. Le plus gros de ces types a un diamètre extérieur de huit centimètres; il se place naturellement près des dynamos. A mesure qu'on s'éloigne des machines, on emploie des conducteurs de plus en plus faibles, comme dans toute espèce de canalisation pour montage en dérivation.

Deuxième système. — Au lieu de tringles demi-cylindriques, les sociétés Edison emploient aujourd'hui des tiges de section circulaire au nombre de deux ou trois, placées dans des tuyaux en fer, comme précédemment, et séparées par des cordes en chanvre (Fig. 237). Quand une section de ligne est posée, on ferme les extrémités de la conduite, et on coule dans les tuyaux une composition isolante, formée de bitume et d'huiles lourdes,

rendue fluide par la chaleur et restant visqueuse à la température ordinaire. L'avantage de cet isolant semi-liquide sur l'isolant solide est qu'il n'est pas, comme ce dernier, sujet à se fendiller et à prendre de l'humidité par les fissures.

Jonction des conducteurs. — Les joints des fils métalliques doivent être soigneusement faits, de manière à présenter une grande résistance mécanique, tout en n'augmentant pas la résistance électrique du circuit.

Fig. 238. — Jonction de fils.

Les figures 238 à 240 représentent trois des joints les plus fréquemment employés.

Pour exécuter le joint à double torsade (Fig. 238), on place parallèlement l'un à l'autre les bouts des deux fils à raccorder et on les serre par le milieu dans un petit étau à main, puis on enroule chacun des bouts sur le fil voisin. La torsade finie, on recourbe souvent les bouts libres des fils et on les soude ensemble par leurs extrémités. On peut également souder chacun des bouts avec le corps du fil voisin.

Ce joint ne peut guère être employé que pour les fils de petite

Fig. 239. — Jonction de fils.

Fig. 240. — Jonction de fils.

section; pour les gros conducteurs, on fait usage de ligatures faites avec un fil fin (Fig. 239), après avoir recourbé les extrémités des deux fils et avivé les deux parties mises en contact.

Une bonne solution est celle indiquée (Fig. 240). Les fils sont recourbés et fortement frottés avec du papier émeri, puis reliés avec un fil de cuivre ayant environ un millimètre de diamètre, dont l'enroulement commence sur l'un des fils, entoure toutes les parties en contact et se termine sur l'autre fil.

La soudure qui complète le joint est faite avec un fer à souder sur toute la longueur de l'enroulement. Lorsque les joints

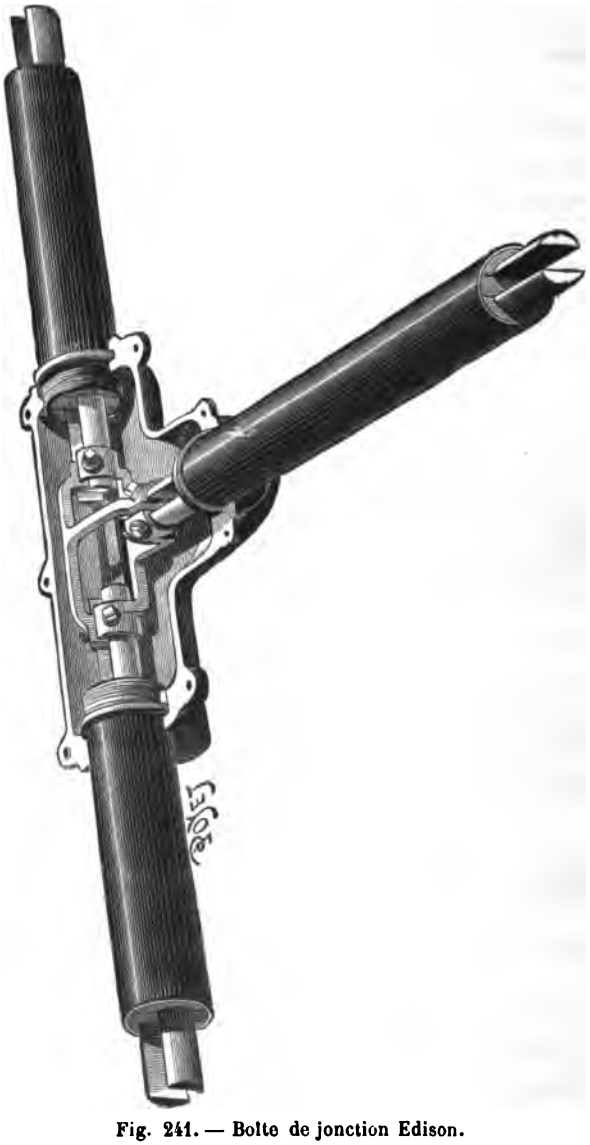


Fig. 241. — Boîte de jonction Edison.

sont refroidis, on les nettoie à l'eau simple et on les essuie avec un linge bien sec.

Dans les cas de cordes métalliques, on enchevêtre les uns

dans les autres les bouts des fils des deux cordes à réunir, de manière à former une épissure que l'on soude ensuite.

Boîtes de jonction. — Les boîtes de jonction servent, dans les stations centrales et les grandes installations privées, à réunir les diverses branches des conducteurs principaux et ceux-ci avec les conducteurs secondaires.

La figure 241 représente une boîte de jonction Edison pour

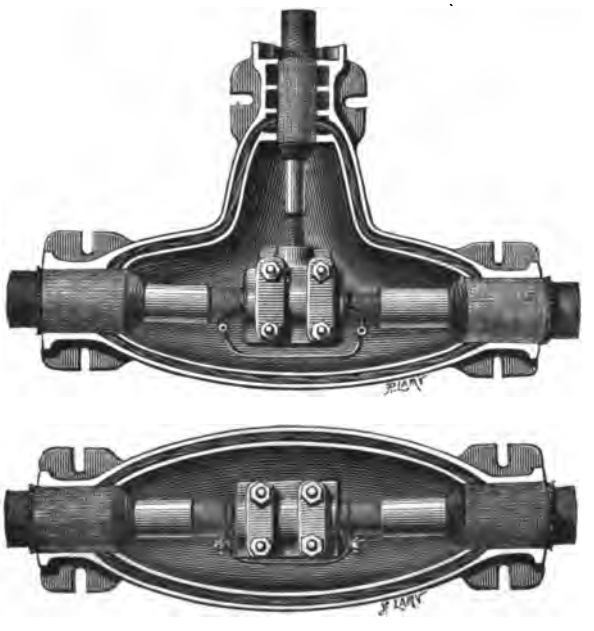


Fig. 242 et 243. — Boîtes de jonction Siemens.

des conducteurs demi-circulaires. Les tuyaux en fer sont assemblés entre les deux coquilles d'une boîte en fonte, et les âmes sont reliées entre elles à l'aide d'étriers en cuivre solidement vissés avec les tringles. Quand le montage est terminé, on coule par un trou ménagé sur la boîte un mélange isolant de même nature que celui dont les tubes sont garnis.

La maison Siemens donne à ses boîtes de jonction les formes indiquées (Figures 242 et 243), qui représentent, l'une l'assemblage de deux conducteurs bout à bout ; l'autre, l'assemblage d'un conducteur principal avec un conducteur secondaire.

Dans cette dernière, les deux bouts du conducteur principal et celui du conducteur secondaire sont dénudés, amenés au contact, puis pincés fortement, à l'aide de quatre boulons, entre deux manchons de cuivre étamé. Des bourrelets en jute goudronné

Fig. 244. — Boîte de jonction Berthoud-Borel.

forment des joints étanches aux entrées des conducteurs dans les boîtes. Celles-ci sont en fonte, à doubles parois. Les deux coquilles sont ensuite réunies au moyen de six forts boulons, et l'espace compris entre les deux parois de la boîte, ainsi que le vide intérieur, sont remplis de substance isolante.

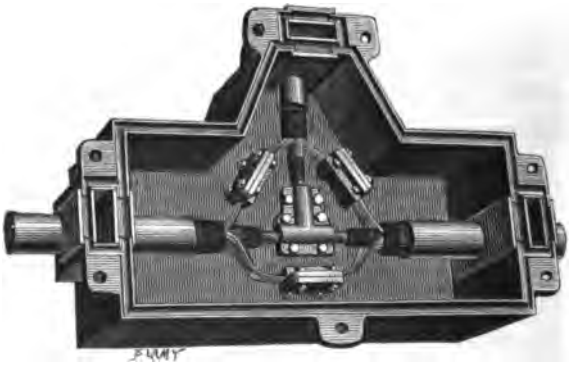


Fig. 245. — Boîte de jonction de deux câbles Berthoud-Borel.

Il faut naturellement deux boîtes pour une même canalisation : une pour l'aller, l'autre pour le retour.

Le fil isolé destiné au contrôle des tensions, lorsque le câble est en service, se trouve placé en dehors du manchon d'accouplement (Fig. 243).

La maison Berthoud et Borel, qui fabrique beaucoup de

câbles à deux conducteurs, se sert, pour réunir les deux parties d'un même câble, de la disposition (Fig. 244), et, pour réunir deux câbles ensemble, de la disposition (Fig. 245), qui sont faciles à comprendre.

L'intérieur des boîtes est entièrement rempli de paraffine lorsque la jonction des deux coquilles a été opérée.

Pour les petites installations, MM. Berthoud et Borel conseillent l'emploi d'un boîte simple (Fig. 246).

Cette boîte se compose d'un réservoir rond A, en fonte, sur deux côtés opposés duquel se trouve une chambre B. Les câbles sont introduits à travers les ouvertures de ces chambres et viennent se croiser en D où ils sont fortement serrés. Les espaces B

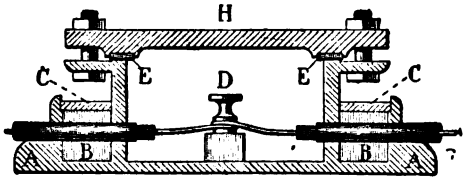


Fig. 246. — Boîte simple Berthoud-Borel.

sont alors remplis de brai fondu, puis fermés au moyen des couvercles C, garnis également de brai sur la face supérieure. Le couvercle H de la boîte A est posé sur une rondelle en caoutchouc durci E et fixé par quatre boulons.

Conducteurs souterrains aux États-Unis. — C'est surtout aux États-Unis que les grandes applications d'éclairage électrique se sont développées et ont donné lieu, par conséquent, aux études les plus approfondies sur la canalisation des conducteurs.

Déjà, dans diverses localités, les fils souterrains ont été adoptés de préférence aux fils aériens, et des arrêtés municipaux en règlent l'usage.

A Brooklyn, on vient d'examiner une ligne souterraine posée depuis deux ans dans une canalisation en bois enduit de créosote, et on a constaté qu'en plusieurs endroits l'enveloppe en plomb des câbles avait été sérieusement endommagée par l'acide carbonique. On a remarqué que le plomb pur était seul attaqué, tandis

que les câbles dont l'enveloppe de plomb contenait un peu d'étain étaient restés intacts.

A Chicago, la canalisation est de forme cylindrique. Elle comporte à l'intérieur un grand nombre de trous au travers desquels passent les câbles. A chaque coin de rue se trouvent des

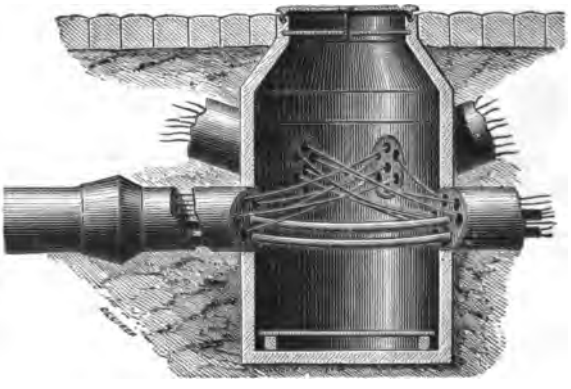


Fig. 247. — Canalisation de Chicago.

regards (Fig. 247), pour la distribution des fils dans toutes les directions.

L'enveloppe des fils se compose d'asphalte, de terre siliceuse et d'autres matières soumises à une très forte compression. Elle est imperméable et possède une haute puissance d'isolation.

Coupe-circuits. — On nomme *coupe-circuits* ou *cut-off* des appareils destinés à empêcher les accidents (détérioration des fils, incendie, etc.) auxquels un échauffement exagéré des conducteurs peut donner naissance.

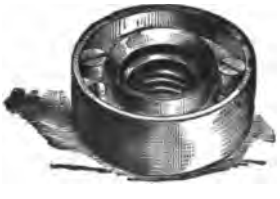


Fig. 248. — Coupe-circuit Edison à simple branchement.

Les coupe-circuits sont généralement formés d'un fil en plomb ou en alliage fusible que l'on intercale dans un circuit et qui fond lorsque le courant dépasse une intensité déterminée. On calcule facilement le diamètre de ces fils, sachant que le plomb fond lorsque la densité du courant qui le traverse atteint 30 ampères par millimètre carré de section.

La Société Edison possède une série de modèles de coupe-circuits tout préparés. Les figures 248 et 249 représentent : la première un coupe-circuit simple pour les faibles débits, et la seconde un coupe-circuit à double embranchement pour des circuits de 30 à 130 lampes à incandescence.

Il existe des coupe-circuits qui dispensent du remplacement des fils de plomb, mais qui sont beaucoup moins simples, et,

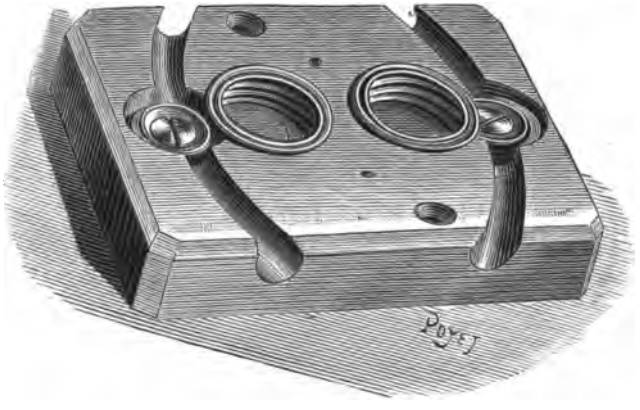


Fig. 249. — Coupe-circuit Edison a double branchement.

par suite, plus coûteux et plus sujets à dérangements que les précédents.

Ces appareils se composent en principe d'un électro-aimant et d'un godet à mercure. L'armature de l'électro-aimant oscille

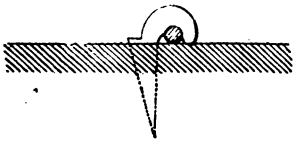


Fig. 250. — Pose de fils.

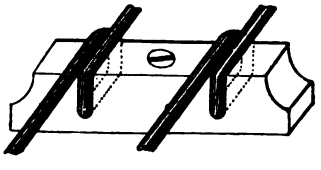


Fig. 251. — Pose de fils.

autour d'un axe et porte deux lames qui viennent plonger dans le mercure et font partie du circuit à protéger. Quand l'intensité du courant dépasse un nombre d'ampères donné, l'armature est attirée; elle oscille et, dans son mouvement, retire les lames du mercure, ce qui rompt le circuit.

Câbles de dérivation. — Les conducteurs de dérivation auxquels viennent se relier les lampes dans certains montages sont fixés directement sur les murs des locaux à éclairer avec des crochets émaillés (Fig. 250) ou mieux sur des tasseaux en bois (Fig. 251), qui les isolent mieux des murs. On emploie également, pour le même usage, des petits boutons en os (Fig. 252), sur les-

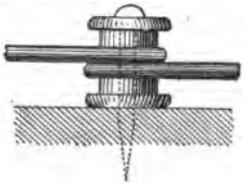


Fig. 252. — Pose de fils.

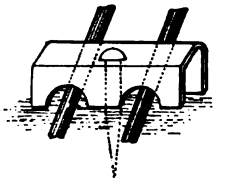


Fig. 253. — Pose de fils.

quels s'enroule le fil, ou des petits cavaliers en fer (Fig. 253) qui maintiennent constant l'écartement des deux fils.

Les fils de dérivation sont branchés sur les câbles intermédiaires par un enroulement en spirale fait sur une partie dénudée (Fig. 254) et recouvert de composition Chatterton.

Câbles intermédiaires. — Les conducteurs qui relient les câbles principaux aux fils de dérivation sont montés sur des isolateurs en porcelaine ou dans des moulures en bois (Fig. 255). Jusqu'à 10 millimètres carrés de section, les conducteurs peuvent être simplement raccordés par une ligature ordinaire, puis recouverts de chatterton ; au delà , nous considérons comme indispensable de faire une soudure à l'étain et à la résine, afin d'éviter un contact imparfait.

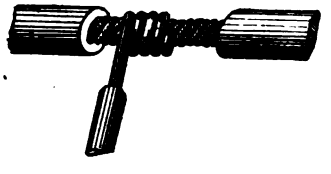


Fig. 254. — Branchement de fils.

MONTAGE DES FOYERS LUMINEUX

Montage des lampes à arc. — Les régulateurs ou lampes à arc peuvent être montés soit en série, soit en dérivation, soit

groupés en plusieurs séries comprenant chacune un certain nombre de lampes en dérivation.

Le montage en série consiste à placer tous les régulateurs sur un même conducteur en reliant la borne positive de la dynamo à la borne positive du premier régulateur, la borne négative de celui-ci à la borne positive du second régulateur; la borne négative du second régulateur à la borne positive du troisième, et ainsi de suite jusqu'à la borne négative du dernier régulateur qu'on relie à la borne négative de la dynamo (Fig. 256).

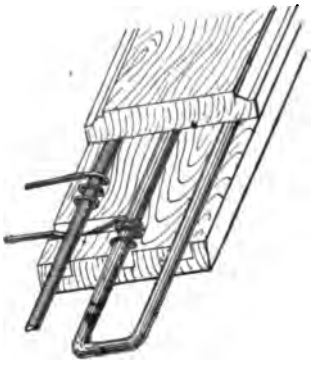


Fig. 255. — Branchement intermédiaire.

Cette disposition présente l'avantage de réaliser une grande économie sur les conducteurs, puisque l'intensité du courant et, par suite, la section du câble sont les mêmes, quel que soit le nombre d'appareils à alimenter. Mais, d'autre part, elle possède l'inconvénient d'exiger des courants sous haute tension et de rendre les régulateurs solidaires les uns des autres. Ces inconvénients ont été bien atténués depuis quelques années, grâce aux perfectionnements apportés à la construction des dynamos, sur-

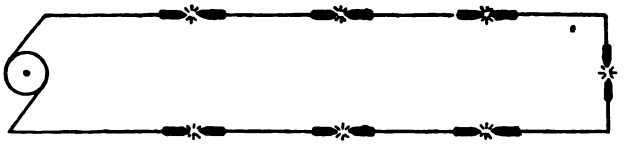


Fig. 256. — Montage des arcs en série.

tout en ce qui concerne l'isolation des fils, et aux organes de mise en court-circuit des bornes des régulateurs, lorsque l'un d'eux vient à se déranger.

Le montage en dérivation (Fig. 257) consiste à établir deux fils parallèles partant de la dynamo et allant jusqu'à l'extrémité du local ou des locaux à éclairer; puis à placer chaque régulateur sur un fil secondaire relié aux deux fils primaires.

Le montage mixte (Fig. 258) est une combinaison des deux

premiers, qui est très usitée dans les ateliers de construction, où elle permet d'employer des courants assez intenses sous une différence de potentiel ne dépassant pas quelques centaines de volts.

Les régulateurs peuvent enfin être placés chacun sur un cir-

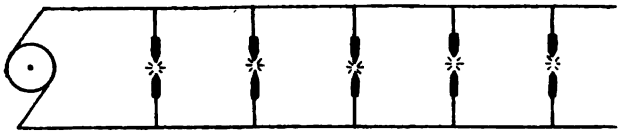


Fig. 257. — Montage des arcs en dérivation.

cuit spécial. Cette disposition occasionne une assez grande dépense de câbles; mais elle permet de donner à chaque foyer une intensité lumineuse différente des autres et procure une indépendance absolue à tous les foyers.

Dans le but de simplifier l'installation, on met quelquefois un

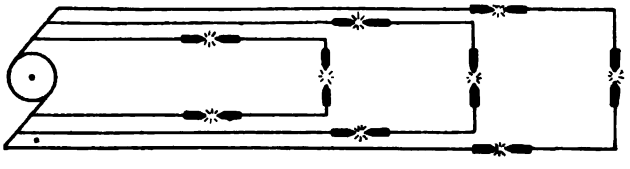


Fig. 258. — Montage mixte pour arcs.

fil de retour unique (Fig. 258 *bis*), en ayant soin de calculer la section de ce fil d'après l'intensité totale du courant engendré par la dynamo.

Quand les régulateurs sont placés chacun sur un circuit spécial ou tous en dérivation, la chute de potentiel aux bornes de

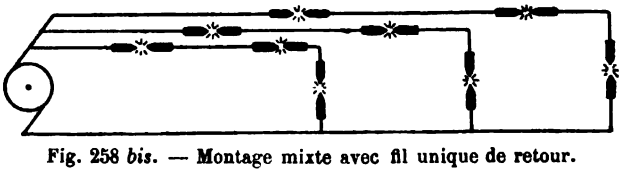


Fig. 258 *bis*. — Montage mixte avec fil unique de retour.

la dynamo doit être d'environ 70 volts. La formation de l'arc et son réglage exigent de 45 à 50 volts, suivant la grosseur et la nature des crayons employés. L'excédent, 20 à 25 volts, est absorbé par le circuit. Si le conducteur ne consomme pas ces 20 à 25 volts par sa propre résistance, on intercale dans le circuit un rhéostat généralement formé au moyen d'un fil très résistant de maille-

chort roulé en spirale ou simplement de baguettes longues et minces en charbon aggloméré.

Les rhéostats doivent être disposés de manière à ce qu'on puisse faire varier leur résistance, soit à l'aide de chevilles mobiles analogues à celles des boîtes de résistances, soit à l'aide d'un commutateur à manette et à touches multiples (Fig. 259).

Lorsqu'on place les régulateurs en tension, chacun d'eux exige moins de force électromotrice que dans la disposition par dérivation. La résistance du câble suffit souvent pour maintenir l'arc et assurer la marche régulière des appareils. Mais les régulateurs doivent tous fonctionner en service normal, et, si l'un d'eux vient à s'éteindre ou à être mis hors du circuit, il faut le remplacer dans le circuit par un rhéostat de résistance équivalente.

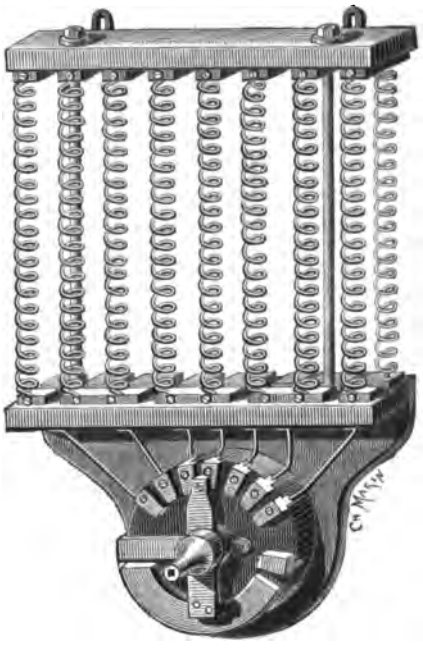


Fig. 259. — Rhéostat avec commutateur.

On peut cependant rendre l'éclairage général du circuit indépendant de la marche d'un ou de plusieurs régulateurs sans dépenser en pure perte (dans une résistance métallique) l'énergie électrique correspondant aux foyers éteints; pour cela, il faut combiner des dynamos à intensité constante. On arrive à réaliser ces dynamos en rendant automatiquement leur force électromotrice proportionnelle au nombre des lampes allumées, soit par diminution du courant d'excitation, soit par réduction de la vitesse.

Si l'installation est importante, on réduira beaucoup les pertes de force électromotrice dans les résistances métalliques accessoires en se servant de plusieurs dynamos et en excitant leurs inducteurs en dérivation par une machine spéciale et indé-

pendante des autres. Cette machine spéciale devra être *compound*, et ses dérivations devront être réglées chacune par un rhéostat indépendant. Un surveillant sera chargé de régler l'excitation des dynamos lorsqu'on éteindra une partie des régulateurs qu'elles alimentaient, et les régulateurs devront posséder des organes spéciaux les mettant en court-circuit au moment où les charbons sont usés ou brisés. Cette disposition, réalisée à l'arsenal de Tulle par le capitaine Milliez, est très avantageuse; elle économise une puissance considérable sans dynamo compliquée et tension exagérée.

Montage des lampes à incandescence. — Les dispositions adoptées pour le montage des lampes à incandescence sont très variées; nous en représentons, page 445, huit, choisies parmi les plus usitées.

La figure 260 représente le montage en dérivation avec des lampes de même résistance et de même intensité lumineuse. C'est le plus fréquemment employé et celui qui donne les résultats les plus satisfaisants au point de vue de la régularité du service et de la durée moyenne des lampes. Son seul inconvénient consiste à nécessiter une dépense première considérable pour l'établissement des conducteurs, quand la canalisation a un grand développement.

La figure 261 indique le montage de deux modèles de lampes sur un même circuit. (Les premières lampes sont, par exemple, calculées pour fonctionner avec 100 volts de chute de potentiel; les deux suivantes avec 50 volts seulement, etc...). Si une lampe de 50 volts s'éteint, elle entraîne naturellement l'extinction de celle qui est placée sur le même fil transversal. C'est là un inconvénient qui est supprimé dans la disposition (Fig. 262) où l'on a placé un fil longitudinal intermédiaire reliant les lampes de 50 volts en tension.

La figure 263 représente un montage en dérivation combiné pour que chaque lampe soit reliée à la dynamo par deux conducteurs d'une longueur totale fixe, ce qui égalise les résistances métalliques sur chaque foyer, mais occasionne une dépense supplémentaire.

Fig. 260.

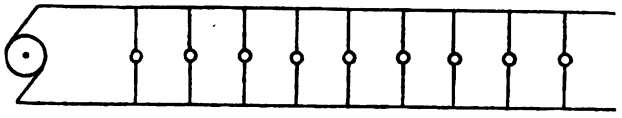


Fig. 261.

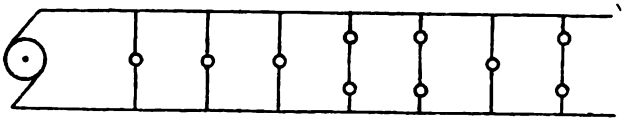


Fig. 262.

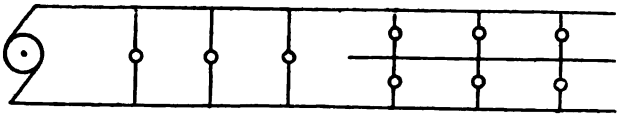


Fig. 263.

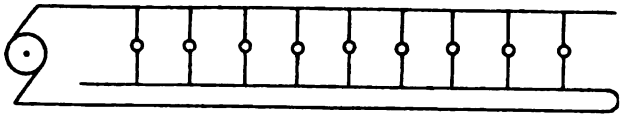


Fig. 264.

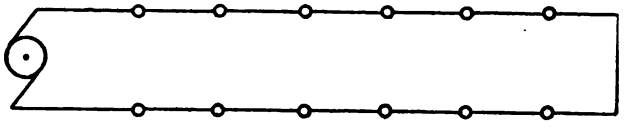


Fig. 265.

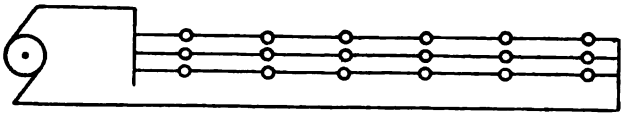


Fig. 266.

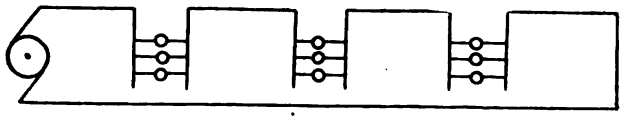


Fig. 267.

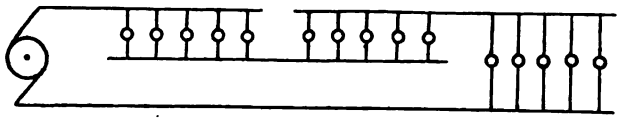
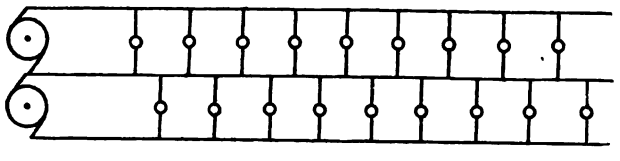


Fig. 268.



Montages des lampes à incandescence.

La figure 264 montre un couplage en série où toutes les lampes se trouvent sur un circuit unique. C'est la disposition préconisée par M. Bernstein pour des lampes exigeant un faible voltage et un fort courant. Elle est très économique ; mais elle ne peut être utilisée que lorsque chaque lampe est munie d'un organe la mettant instantanément en court-circuit quand son filament est détruit.

Il est d'ailleurs impossible d'employer ce système pour de grandes installations, car il faudrait pour cela donner aux dynamos des tensions de plusieurs milliers de volts, ce qui n'est guère possible à réaliser pratiquement.

Il est préférable, dans certains cas, de combiner les deux systèmes de montage comme il est indiqué (Fig. 265). Avec une dynamo produisant un courant sous une différence de potentiel de 600 volts, il est ainsi possible d'alimenter un grand nombre de séries de six lampes fonctionnant à 100 volts et de diminuer considérablement la grosseur et, par suite, le prix des conducteurs.

Les figures 266 et 267 sont des variantes du montage mixte, qui peut donner lieu à une foule de combinaisons ayant chacune des avantages particuliers.

La figure 268 représente le montage Edison à 3 fils, dont nous expliquerons plus loin le but et le résultat économique.

Montage combiné de régulateurs et de lampes à incandescence. — Ce montage peut également être réalisé de plusieurs manières, suivant la disposition des locaux à éclairer et les exigences d'un service plus ou moins compliqué.

Dans les installations de lampes à incandescence en dérivation, fonctionnant à 100 volts, on est parvenu à mettre deux régulateurs en tension ; mais la faible différence de potentiel attribuée à chacun des régulateurs crée souvent des irrégularités d'intensité fort désagréables à l'œil. Le mieux, quand on veut réunir les deux sortes de foyers, est d'établir un circuit unique pour 70 volts et d'y placer des lampes à incandescence de résistance correspondante et des régulateurs à arc avec leurs rhéostats. La puissance absorbée est un peu grande, la dépense

première un peu élevée; mais les appareils fonctionnent tous bien et l'éclairage est satisfaisant.

On peut encore établir un circuit distinct pour l'incandescence et monter les régulateurs en dérivation sur un autre circuit (Fig. 269); par ce moyen, la lumière des lampes à incandescence n'est pas influencée par les variations des arcs voltaïques.

Il existe une foule d'autres combinaisons pour le montage mixte des brûleurs. Voici celles adoptées par la Compagnie Thomson-Houston aux États-Unis :

La figure 270 représente une disposition en série obtenue à l'aide d'une dynamo à intensité constante et à différence de potentiel variable. Le courant est de 8 ampères; la résistance des

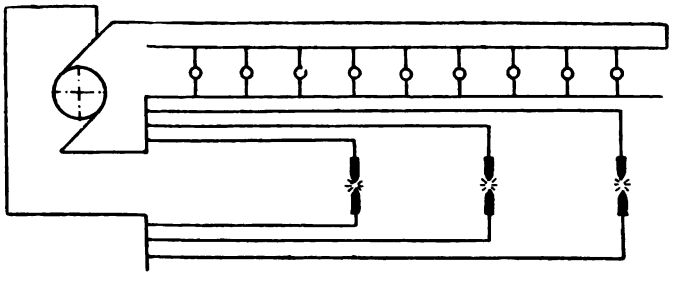


Fig. 269. — Montage mixte pour arcs et incandescence.

lampes à incandescence est telle que leur puissance lumineuse varie de 32 à 125 bougies suivant les modèles choisis. Les quatre régulateurs A ont une intensité de 1 200 bougies chacun; les trois lampes D, une intensité de 125 bougies chacune; la lampe B n'est que de 32 bougies et la lampe C de 55 bougies. Comme l'intensité ne peut pas dépasser sa valeur de régime, les lampes ne sont jamais poussées à l'excès, et leur durée normale est mieux assurée que dans n'importe quel autre système.

La figure 271 montre une disposition un peu plus compliquée, mais qui présente l'avantage de permettre l'emploi de lampes à incandescence normales de 50 volts. Le courant a une intensité de 10 ampères. Les 6 régulateurs A sont comptés comme produisant des lumières de 2 000 bougies. A la suite des régulateurs se trouvent d'abord deux groupes de 8 lampes à incandescence, absorbant chacune 1,25 ampère et donnant une

lumière de 16 bougies; puis le circuit se subdivise en deux lignes distinctes présentant une égale résistance et recevant chacune 5 ampères. Ces lignes alimentent deux groupes C et D de 4 lampes de 16 bougies.

Si l'on éteint une ou plusieurs lampes à incandescence, ou

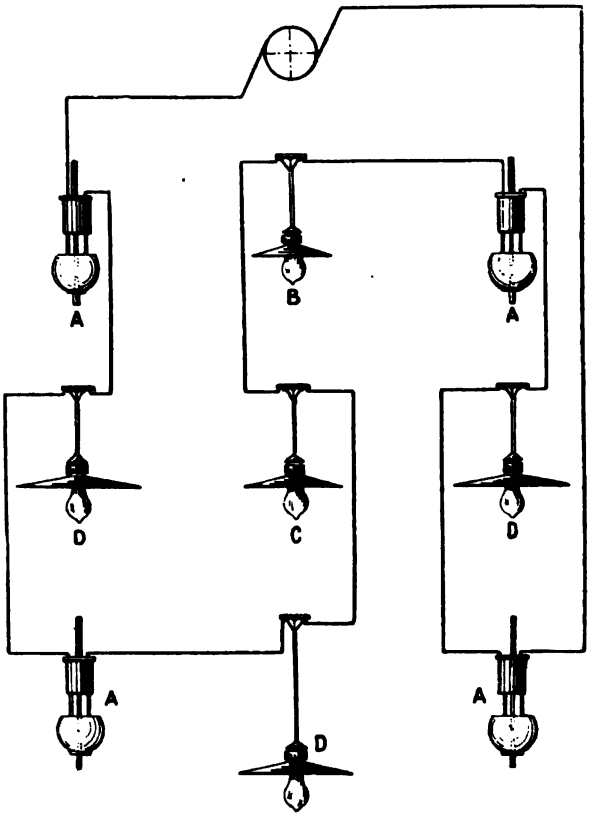


Fig. 270. — Montage Thomson-Houston.

s'il s'en brise une pendant la marche, on introduit dans le circuit une résistance égale à celle qui disparaît, de manière à ne pas surmener les autres lampes. Les inventeurs ont imaginé, pour cet usage, des petits rhéostats fort ingénieux et très faciles à employer.

Couplage des dynamos. — On peut coupler les dynamos,

comme les foyers, en tension, en quantité ou d'une manière mixte, partie en tension, partie en quantité.

Le couplage en tension ne présente aucune difficulté. Dans le cas où les inducteurs sont montés en série, il suffit de réunir (Fig. 272) la borne négative de l'une à la borne positive de l'autre,

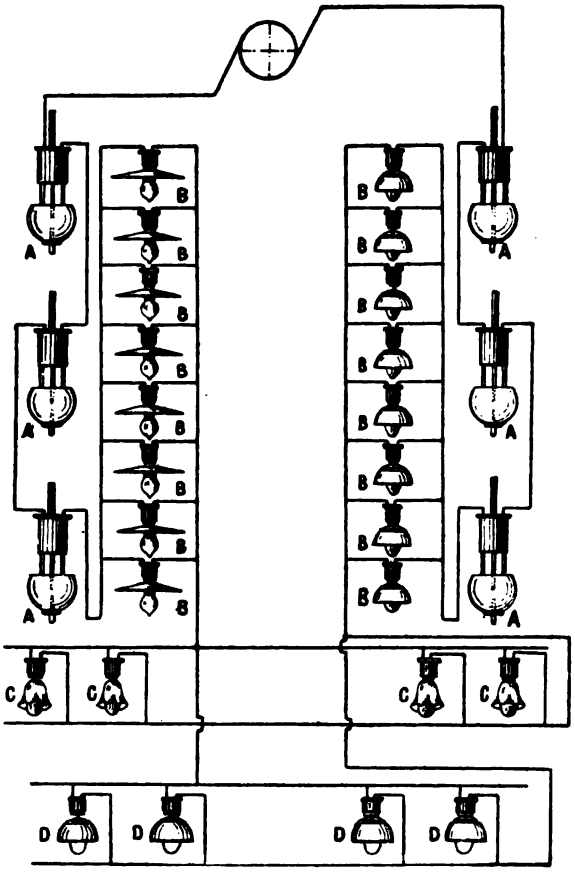


Fig. 271. — Montage Thomson-Houston.

et de relier le circuit extérieur avec la borne positive de la première et la borne négative de la seconde. Les différences de potentiel fournies par chaque dynamo s'ajoutent, et l'intensité du courant est naturellement la même dans les deux dynamos et dans le circuit extérieur.

Il va sans dire qu'il faut préalablement choisir des machines

fournissant très approximativement le même courant quand elles fonctionnent séparément, sans cela on courrait le risque d'en brûler une en les couplant en tension.

On peut coupler ainsi un nombre quelconque de dynamos; mais pratiquement on n'en couple pas plus de trois ou quatre ensemble dans un même circuit.

Dans le cas où les inducteurs sont montés en dérivation, on procède de la même manière que précédemment, puis on relie ensemble les dérivations de manière à ce que le fil dérivé parte de la borne négative de la première machine, entoure les inducteurs des deux machines et aboutisse à la borne positive de la deuxième machine (Fig. 273).

Lorsque les machines ont des inducteurs à double enroulement, on relie les fils principaux comme dans le couplage des machines à inducteurs montés en série, et les fils fins comme dans le couplage des machines à inducteurs montés en dérivation (Fig. 274).

Pour le couplage des dynamos en quantité, il faut également examiner les trois modes de montage des inducteurs.

Si les inducteurs sont montés en série, on relie les balais négatifs des dynamos entre eux et les bornes positives entre elles. Puis on ajoute un fil fin, appelé *fil Gramme*, du nom de l'inventeur, ou *fil d'équilibre*, entre les balais positifs (Fig. 275).

Si les inducteurs sont montés en dérivation, on relie aux deux câbles principaux : 1° les balais positifs ; 2° les balais négatifs ; et 3° les extrémités des deux fils de dérivation des inducteurs (Fig. 276).

Enfin si les inducteurs sont à double enroulement, on procède (Fig. 277) comme pour les dynamos dont les inducteurs sont montés en série; puis on rattache les extrémités des fils fins au fil d'équilibre d'une part et aux balais négatifs d'autre part.

Les divers modes de couplage que nous venons d'indiquer sont très simples, et leur emploi ne présente aucun inconvénient. Cependant, lorsque les dynamos doivent être couplées en quantité pendant la marche, il est nécessaire de disposer entre elles une résistance intermédiaire et de prendre quelques précautions préalables.

Désignons par A et B les deux dynamos à réunir en quantité,

Fig. 272.

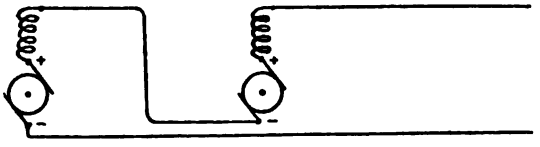


Fig. 273.

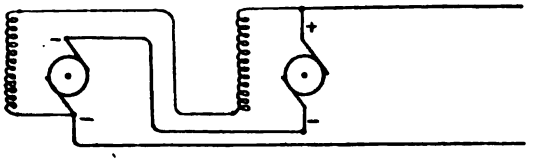


Fig. 274.

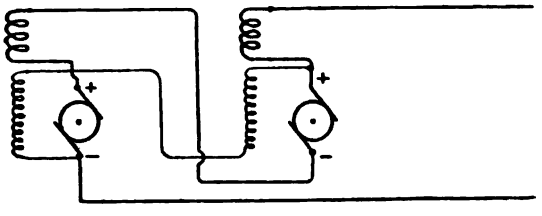


Fig. 275.

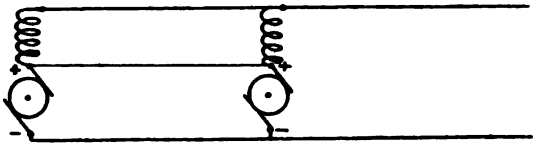


Fig. 276.

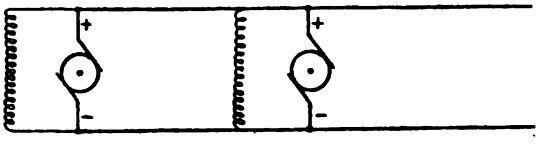
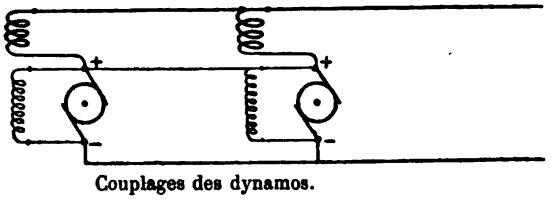


Fig. 277.



Couplages des dynamos.

et supposons que la dynamo A alimente seule le circuit exté-

rieur, et qu'on veuille renforcer son courant par celui de la dynamo B. On commencera par placer la dynamo A sur la résistance intermédiaire; on ouvrira ensuite le circuit d'excitation lorsqu'elle tournera à sa vitesse de régime, et on attendra quelques instants afin que sa puissance atteigne son maximum. A ce moment, on pourra sans inconvénient mettre la dynamo B sur le circuit extérieur à l'aide d'un simple commutateur.

Pour arrêter, il faudra repasser par les mêmes phases, mais en sens inverse, et ne toucher au commutateur que lorsque le courant sera tombé à zéro. En opérant ainsi, l'éclairage n'éprouvera aucun soubresaut.

Dimensions des conducteurs. — Dans le calcul d'une canalisation électrique on doit considérer : 1° la perte de charge occasionnée par le courant dans les conducteurs; 2° la température déterminée par le courant dans les conducteurs; 3° les frais de premier établissement.

Dans les installations de lampes à incandescence, la première de ces considérations est la plus importante, car une variation très faible dans l'intensité de courant, provenant d'une résistance trop faible ou trop forte, peut amener une destruction rapide des lampes ou donner un éclairage insuffisant. Pour l'éclairage par arc, au contraire, la température du câble est souvent l'unique élément à considérer. Dans bien des cas, le prix de la canalisation domine la question, les industriels ne se décidant à s'éclairer par l'électricité qu'à la condition absolue de ne pas dépenser une trop forte somme.

Température.—La température du câble dépend de la nature de l'isolement et des conditions d'installation. Un fil nu ayant une section d'un millimètre carré, par exemple, laisse facilement passer 10 ampères sans échauffement anormal, tandis qu'un câble de 70 millimètres carrés de section, *isolé au caoutchouc*, supporte à peine 2 ampères par millimètre carré.

Dans une installation réalisée avec des fils isolés, il est convenable de laisser passer au maximum, par millimètre carré de section, 4 ampères dans un conducteur ayant de 1 à 3 millimètres carrés; 3,5 ampères dans un conducteur de 3 à 15 milli-

mètres carrés; 3 ampères dans un conducteur de 15 à 50 millimètres carrés; et 2 ampères dans un conducteur de 50 à 100 millimètres carrés. Au-dessus de cette section, nous conseillons d'établir deux câbles au lieu d'un; le poids total sera moindre, et la pose s'exécutera plus économiquement.

Avec des câbles nus on peut, sans inconvénient, augmenter les débits précédents de 25 à 50 pour 100.

Prix de revient. — Le coût de l'installation ne dépend pas uniquement du poids de la canalisation, mais aussi et surtout des difficultés de pose et des complications qu'un projet *basé sur la recherche des sections minima* entraîne généralement avec lui. On a souvent plus d'intérêt à augmenter le poids du cuivre et à établir des câbles uniformes dans toute leur longueur, qu'à constituer des conducteurs à section décroissante et à poids réduit. Mais c'est surtout l'étude appprofondie du groupage en tension des foyers et des dynamos qui conduit à des économies considérables dans l'installation et rend possibles des applications jugées irréalisables par les systèmes ordinaires en dérivation.

Perte de charge. — Généralement les constructeurs se donnent, *à priori*, la perte de charge consentie dans la canalisation et répartissent cette perte dans les diverses parties du réseau : câbles principaux, câbles intermédiaires, fils de dérivation.

Plus la perte admise est grande, moins la canalisation est coûteuse, mais, par contre, plus sont élevées les dépenses de force motrice pour la mise en mouvement des dynamos.

Un électricien intelligent doit surtout chercher à exécuter des machines à grand rendement, ce qui lui permet de réduire considérablement le prix de la canalisation, tout en ne consommant pas plus de force motrice que ses concurrents.

Nous avons eu l'occasion d'examiner un grand nombre de projets d'une même installation proposés par des sociétés françaises et étrangères, et nous avons constaté que la perte de charge prévue pour le réseau variait entre 5 et 15 pour 100. Une perte de 10 pour 100 paraît donc assez normale. Elle peut se répartir ainsi : 6 pour 100 dans les câbles principaux, 2 pour 100 dans les conducteurs intermédiaires et 2 pour 100 dans les fils

de dérivation. Lorsqu'on emploie des lampes de 100 volts, la dynamo doit donc fournir à ses bornes 110 volts.

Dans l'établissement des divers conducteurs, il ne faut jamais perdre de vue que la différence de potentiel aux bornes de chaque lampe doit être comprise entre 98 et 101 volts, quelles que soient la place des lampes et la quantité de foyers allumés.

La perte de force électromotrice dans un fil se calcule par la formule d'Ohm, $I = \frac{E}{R}$. Connaissant la longueur du fil l et sachant qu'un fil de cuivre d'un millimètre carré de section et de 60 mètres de longueur a une résistance d'un ohm environ, il est facile de calculer sa section s. On a, en effet, $R = \frac{l}{60\,s}$, d'où $s = \frac{l\,I}{60\,E}$.

Les renseignements qui précèdent suffisent pour calculer une canalisation électrique quelconque lorsqu'on est bien fixé sur toutes les longueurs des diverses parties du conducteur et sur la position exacte de tous les foyers lumineux. Quand tous les calculs sont terminés, il est bon d'examiner si les sections trouvées sont suffisantes pour donner passage, sans échauffement exagéré, au courant qui doit traverser les conducteurs considérés.

Distribution à trois conducteurs. — M. Edison a proposé une solution très ingénieuse pour diminuer le prix des câbles. Cette solution, dite à *trois conducteurs*, est représentée (Fig. 268). Elle consiste à alimenter le circuit des lampes par deux dynamos identiques, couplées en tension, et à placer les lampes en nombre égal de chaque côté d'un fil intermédiaire partant du point de jonction des deux machines.

Lorsque toutes les lampes sont allumées, le conducteur intermédiaire n'est parcouru par aucun courant. Quand, au contraire, les lampes d'un groupe sont toutes éteintes, c'est le conducteur extrême de ce groupe qui devient passif. Dans tous les cas, le courant maximum qui peut traverser l'un des trois conducteurs a la même intensité que celui nécessaire pour alimenter un des groupes pris isolément. La disposition à trois fils donne

donc une économie de 25 pour 100 dans le poids du cuivre, sur deux groupes séparés alimentés par deux fils.

La perte d'énergie étant la même que dans un circuit simple, et le nombre des lampes alimentées étant double, il en résulte que, dans le système à trois fils, cette perte est la moitié de ce qu'elle serait dans un système ordinaire à deux fils.

Au lieu de trois conducteurs, on peut en placer quatre ou un plus grand nombre. Avec m conducteurs, le rapport des poids de cuivre employé (en comparaison avec un système à deux fils) serait égal à $\frac{m+1}{2\,m^2}$, et l'économie d'énergie réalisée, de $1-\frac{m+1}{2\,m^2}$ pour 100.

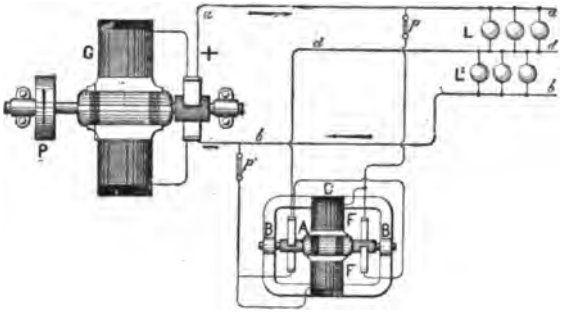


Fig. 278. — Compensateur Thomson.

En pratique, on n'accouple pas plus de quatre machines ensemble; la ligne se compose alors de cinq conducteurs. Le système à trois conducteurs peut, il est vrai, occasionner une usure plus rapide des lampes ou des irrégularités d'intensité lumineuse préjudiciables à un bon service d'éclairage; si, par exemple, on éteint un plus grand nombre de lampes sur un des groupes que sur l'autre, la perte de charge variera et influencera le débit électrique, et, par suite, la puissance lumineuse des deux groupes. L'un sera trop poussé, l'autre pas assez.

Compensateur Thomson. — Pour remédier à cet inconvénient, M. Elihu Thomson dispose sur le circuit un appareil *compensateur* ayant pour objet de maintenir la même tension dans les deux groupes de lampes.

Ce compensateur est représenté (Fig. 278).

Au lieu de deux dynamos couplées en tension, nous indiquons une seule machine G, actionnée par la poulie P et tournant dans le sens indiqué par la flèche.

Cette dynamo est compound; elle maintient une différence de potentiel constante entre les conducteurs extrêmes *aa* et *bb*. Un fil intermédiaire *dd* divise cette différence de potentiel en deux parties, qui sont égales lorsque le nombre de lampes est le même sur les deux circuits.

Le compensateur est une dynamo C dont l'induit A tourne sur l'axe BB. L'inducteur FF de cette dynamo est excité par une dérivation du circuit principal prise sur les fils extrêmes.

L'induit est muni d'un double enroulement formé de deux circuits séparés. Il possède donc deux collecteurs et deux paires de balais. C'est en réalité un double anneau Gramme ayant une âme unique en fer doux. La longueur du fil sur chacun des anneaux est telle que la force électromotrice fournie par eux, à grande vitesse, est égale à celle existant normalement entre chacun des fils extrêmes, *a*, *b*, et le fil intermédiaire *d*.

Un fil partant du conducteur *a a* se rend, en traversant le coupe-circuit fusible *p*, à l'un des balais du collecteur de droite. Un deuxième fil partant du conducteur *b b* se rend, en traversant le coupe-circuit fusible *p'*, au balai correspondant du collecteur de gauche. Les deux autres balais sont reliés au fil intermédiaire *dd*.

Si le courant du groupe L est égal à celui du groupe L', la différence de potentiel existant entre *a* et *d* est égale à celle existant entre *d* et *b*. Le compensateur tourne comme un moteur sans charge, et sa vitesse s'accroît jusqu'à ce que la force contre-électromotrice qu'il développe soit égale à ladite différence de potentiel.

Si l'on vient à éteindre des lampes sur le groupe L', par exemple, la différence de potentiel entre *a* et *d* s'élève aussitôt, tandis qu'elle baisse entre *d* et *b*. Un des anneaux Gramme reçoit alors un courant énergique, et l'armature du compensateur tourne plus vite qu'auparavant. Le second anneau Gramme agit alors comme générateur et fournit du courant entre *b* et *d*.

Le compensateur Thomson fait ainsi servir le surplus d'énergie

d'une paire de conducteurs à accroître l'énergie de l'autre paire, de façon à conserver un équilibre constant entre les deux groupes de lampes.

Circuit de sûreté. — Pour éviter d'une manière absolue tout risque d'incendie, lorsque les isolateurs sur lesquels s'appuient les câbles sont perméables à l'humidité et, par suite, de nature à établir des courts-circuits, M. Edwin Greenfield, de New-York, a imaginé une combinaison grâce à laquelle chaque circuit de

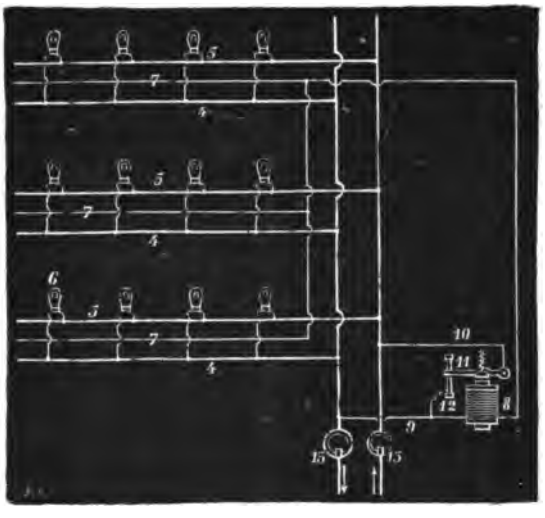


Fig. 279. — Circuit de sûreté.

lumière communique avec un fil de sûreté. Ce fil est relié à un avertisseur ou à un commutateur de telle sorte que le courant dérivé donne l'alarme ou supprime le circuit menacé.

La figure 279 représente cette disposition. Le fil neutre 7 accompagne les conducteurs 4 et 5 ; il est relié à l'électro-aimant 8 et rejoint le conducteur négatif par le fil 9. Les trois fils 4, 5 et 7 sont dans la même gaine isolatrice (Fig. 280).

Un circuit dérivé, 10, met en relation les conducteurs positif et négatif à travers le contact que l'armature 11 de l'électro établit sur la vis d'arrêt inférieure 12, de sorte que, lorsque le courant traverse l'électro, l'armature est attirée ; les conducteurs principaux sont mis en court-circuit, ce qui a pour conséquence

de faire fonctionner immédiatement les coupe-circuits fusibles 15 et d'éloigner tout danger.

Distribution Lane Fox. — La disposition employée par M. Lane Fox pour distribuer les courants aux lampes à incandescence à portée d'un poste central mérite d'être signalée, bien que nous n'en connaissions aucune application. Elle consiste à actionner deux dynamos par la même machine à vapeur et à relier un pôle de chaque dynamo au conducteur principal, tandis que l'autre pôle est relié à la terre par de larges plaques métalliques ou par des tuyaux de conduites d'eau.

Pour assurer une différence de potentiel constante aux

Fig. 280. — Conducteurs avec leur fil de sûreté.

lampes, l'inventeur place un régulateur de courant à solénoïde, entre le conducteur principal et la terre, et une série d'accumulateurs, emmagasinant une partie de l'énergie lorsque le courant dépasse son régime normal, et restituant au circuit principal l'énergie qu'ils ont absorbée lorsque le courant devient trop faible.

Tableaux de distribution. — Pour assurer la régularité du service dans les diverses parties d'une installation d'éclairage électrique, on groupe les instruments de mesures et de contrôle, les commutateurs, les coupe-circuits principaux, les rhéostats, etc., sur des tableaux placés en vue de l'ouvrier chargé d'assurer le fonctionnement normal de tous les appareils.

La composition des *tableaux de distribution* est extrêmement variable; elle dépend d'une foule de considérations, notamment du nombre des dynamos et des circuits, du genre des brûleurs, de leur mode de montage, des heures d'allumage et d'extinction des divers locaux, du service de jour, du service de nuit, etc., etc. Comme exemple nous représentons (Fig. 281) le tableau de distribution de l'usine de M. Marchand à Dunkerque, avec le schéma des dynamos et des circuits électriques.

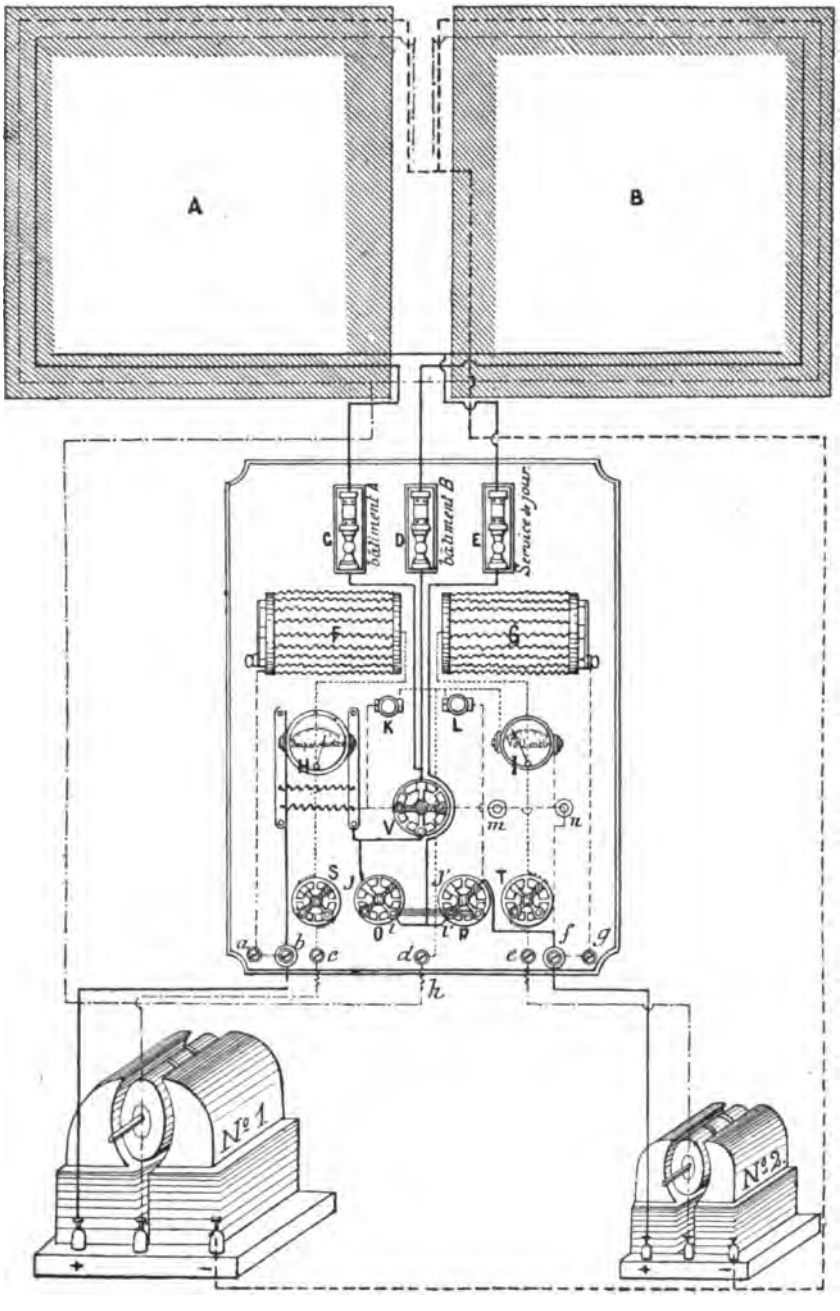


Fig. 281. — Tableau de distribution.

Voici la légende des appareils groupés sur ce tableau :

A, B, Bâtiments à éclairer ;

C, D, Coupe-circuits (service de nuit) ;

E, Coupe-circuit (service de jour) ;

F, G, Rhéostats pour le réglage des courants ;

H, Ampèremètre ;

I, Voltmètre ;

J, J', Commutateurs desservant la dynamo n° 2 ;

K, L, Lampes témoins des deux services ;

O, P, Commutateurs pour coupler les dynamos ;

S, T, Commutateurs des rhéostats F, G ;

V, Commutateur principal ;

m, *n*, Boutons de contact du voltmètre ;

b, *f*, Bornes des câbles principaux pour le départ ;

a, *g*, Bornes de prise de courant des rhéostats ;

h, *c*, *l*, *l'*, Retour commun du voltmètre.

Le commutateur S étant ouvert, il commande le circuit de dérivation de la machine n° 1 et fait monter la tension à 110 volts. Les commutateurs solidaires sont mis dans la position *i* J, *i'* J' ; puis V est ouvert pour permettre au courant d'alimenter les trois circuits C, D, E, c'est-à-dire toute la canalisation de l'usine et des bureaux (service de nuit).

Le matin, la dynamo n° 2 remplace la dynamo n° 1 pour commander seulement le réseau E. A cet effet on commence par manœuvrer le commutateur T qui ferme le circuit de dérivation et amène la tension à 110 volts (celle-ci étant réglée exactement par le rhéostat G). Puis on transporte le circuit E de la machine n° 1 à la machine n° 2 au moyen des commutateurs solidaires. On ferme ensuite le commutateur V, qui coupe les réseaux C et D, et le commutateur S, qui arrête l'excitation, et la dynamo n° 1 est ainsi retirée du circuit.

Ces manœuvres se font rapidement et le service est très régulièrement assuré, sans aucun inconvénient.

CHAPITRE XV

TRANSFORMATEURS

Définition. — On nomme *transformateurs* des appareils qui reçoivent de l'énergie électrique et qui la restituent sous la même forme en modifiant seulement le rapport des facteurs de volts et d'ampères qui constituent la puissance.

Utilité des transformateurs. — Les transformateurs employés dans l'industrie ont surtout pour but de diminuer les frais de premier établissement des installations d'éclairage électrique présentant une grande longueur de fils conducteurs.

Un exemple numérique fera bien saisir l'avantage que procurent ces appareils. Nous supposerons qu'il s'agisse d'éclairer un groupe de locaux avec 500 lampes exigeant un ampère chacune sous 100 volts, et que la dynamo doive être placée à 500 mètres du centre de ce groupe.

Le parcours de 1 000 mètres que mesure le conducteur (aller et retour) entraînera, par exemple, une perte de 10 volts. La résistance du conducteur sera alors de $0^{ohm},02$; sa section, de 833 millimètres carrés ; son poids, de 75 tonnes ; et son prix, d'environ 200 000 francs.

Si, maintenant, on amène la même puissance électrique au centre du groupe considéré avec un courant de 50 ampères sous 1 000 volts, et qu'on transforme ensuite ce courant primaire en un courant secondaire de 500 ampères sous 100 volts, le conducteur devra être beaucoup plus faible. En effet, si l'on admet la même perte de puissance que dans le premier cas, ce conducteur déterminera une chute de potentiel de 100 volts ; sa résistance sera de deux ohms ; sa section, de 8,33 millimètres

carrés; son poids, de 750 kilogrammes; et son prix, de 2 250 francs seulement.

Nous ne tenons pas compte de la perte occasionnée par le transformateur et nous n'examinons pas si, dans la dernière hypothèse, le câble ne serait pas un peu faible pour donner passage à un courant de 50 ampères. Notre exemple ayant pour unique objet de bien faire ressortir le bénéfice considérable qui peut résulter en pratique de l'emploi des transformateurs, il est inutile d'entrer dans des explications plus détaillées.

Bobine d'induction. — Cet appareil, désigné généralement sous le nom de *bobine Ruhmkorff*, se compose essentiellement d'un électro-aimant à gros fil, placé à l'intérieur d'un solénoïde à fil fin, et d'un trembleur destiné à laisser passer et à arrêter rapidement et périodiquement le courant qui parcourt le gros fil.

La différence entre une bobine d'induction et une dynamo consiste dans le mode d'emploi du champ magnétique : une dynamo donne naissance à un courant par suite du déplacement relatif d'un fil et d'un champ magnétique, tandis qu'une bobine d'induction produit des courants par la création et la destruction brusque du champ magnétique inducteur.

Le gros fil qui est placé sur le noyau en fer doux constitue le *circuit primaire*; sur ce gros fil se trouve un tube épais d'ébonite qui reçoit la garniture de fil fin, lequel constitue le *circuit secondaire*.

Le noyau de fer doux est généralement formé d'un faisceau de fils de fer qui perd son aimantation plus vite qu'un barreau massif. La bobine d'induction, dans ses applications courantes, transforme le courant de la pile, c'est-à-dire un courant assez intense mais sous faible potentiel, en un autre courant d'intensité extrêmement réduite, dont la force électromotrice atteint plusieurs milliers de fois celle de la pile.

Ordinairement, le circuit primaire est ouvert et fermé par les oscillations d'un marteau léger en fer, placé de manière à être attiré quand le noyau s'aimante et à interrompre le circuit quand il est assez approché dudit noyau. Pour les grandes bo-

bines, on établit quelquefois l'interrupteur sur une pile distincte de celle qui envoie son courant dans le circuit primaire.

Transformateurs Gramme. — Le transformateur présenté par M. Gramme à l'Académie des sciences, le 23 novembre 1874, se composait d'un anneau dédoublé avec une série de bobines à gros fil et une série de bobines à fil fin, tournant devant les pôles d'un aimant ou d'un électro-aimant.

M. Gramme faisait passer dans un des fils un courant de tension ou de quantité ; l'appareil tournait et produisait dans l'autre fil des courants de quantité ou de tension, c'est-à-dire qu'il modifiait considérablement la valeur relative des deux facteurs de la puissance électrique : intensité et force électromotrice.

M. Gramme a également résolu le problème en se servant de deux bobines placées sur le même arbre : l'une à fil fin, l'autre à gros fil. Il envoyait un courant de tension à travers la bobine à fil fin; l'arbre tournait, et il se développait dans la bobine à gros fil un courant de grande intensité sous faible force électromotrice.

Ajoutons que l'inventeur n'a pas poursuivi ses recherches sur les appareils de transformation, parce qu'il a été pendant plus de douze années entièrement absorbé par des études sur la lumière électrique et sur l'électro-chimie.

Transformateurs Jablochkoff. — En 1876, M. Jablochkoff se fit breveter pour l'application des bobines d'induction à la production de foyers lumineux indépendants. Ce brevet paraît avoir été le point de départ des travaux de plusieurs électriciens; il est donc intéressant d'en connaître les termes précis.

Les voici :

« Mon invention a pour objet une nouvelle disposition de courants, en vue de la production de la lumière électrique, permettant d'obtenir, avec le circuit provenant d'une source électrique, un nombre indéterminé de foyers lumineux, soit égaux, soit d'intensités différentes, et permettant, en outre, de changer à volonté l'intensité de ces foyers lumineux.

« Je suppose d'abord une source électrique donnant des courants redressés comme la pile Bunsen ou la machine Gramme.

« Sur un point quelconque du circuit, j'interpose une bobine inductrice dont le courant de la source traverse le fil; je dispose dans des conditions convenables une deuxième bobine dans laquelle la première bobine développera un courant induit. Les deux extrémités de cette deuxième bobine sont réunies par un fil formant un circuit tout à fait distinct du premier et dans lequel on peut placer un ou plusieurs foyers lumineux.

« En un mot, grâce au courant inducteur de la source primitive, on développe, à l'aide d'une série de bobines, une série de courants induits permettant d'obtenir des effets lumineux séparés avec chaque bobine, qui devient ainsi une source distincte.

« Bien entendu, dans le cas des courants redressés, j'interpose dans le circuit primitif un interrupteur pour produire à la manière ordinaire les effets d'induction.

« Si je suppose, au contraire, une source électrique à courants alternatifs, la disposition générale reste la même; mais l'interrupteur devient inutile.

« Pour ces bobines, je puis employer à volonté les bobines ordinaires ou les bobines construites d'après le principe de mes électro-aimants déjà brevetés.

« L'examen du dessin ci-joint fera bien comprendre la réalisation de mon invention par les deux exemples qu'il donne de la nouvelle disposition des courants appliqués à la production de la lumière électrique dans les deux cas ci-dessus signalés. »

Après avoir donné deux exemples d'applications, M. Jablochkoff conclut ainsi :

« En résumé, je revendique l'exploitation exclusive de la nouvelle disposition de courants que j'ai combinée pour l'éclairage par la lumière électrique et qui est essentiellement caractérisée par l'emploi de bobines d'induction interposées sur un même circuit pour développer une série de courants induits constituant des sources distinctes et permettant d'alimenter séparément plusieurs foyers lumineux d'intensités différentes, avec une source unique d'électricité. »

Transformateur Bright. — Dans une patente provisoire anglaise déposée en 1878, sir Charles Bright revendique pour lui la conception si nettement exprimée dans le brevet précédent.

Nous lisons, en effet, dans cette patente :

« A chaque point où l'on emploie la lumière électrique, le foyer ou groupe de foyers est alimenté par la ou les bobines secondaires d'un appareil d'induction placé en cet endroit.

« La bobine primaire de chaque appareil d'induction est dans le circuit d'un conducteur principal commun à tous et en relation avec une pile ou une machine magnéto-électrique placée en un endroit convenable quelconque.

« La grandeur et la longueur des bobines primaire et secondaire de l'appareil d'induction sont calculées d'après le nombre de foyers employés à chacun des points où les courants secondaires alimentent la lumière électrique. »

Transformateurs Cabanellas. — Le principe des transformateurs proposés par M. Cabanellas, et désignés par lui sous le nom de *robinets électriques*, a été exposé par M. Hospitalier de la manière suivante [1] :

« Concevons deux anneaux Gramme concentriques et immobiles, roulés de fils de différents diamètres.

« Appelons l'anneau intérieur A et l'anneau extérieur B.

« Les balais du collecteur de l'anneau A sont reliés à la distribution générale, et les balais de l'anneau B à un circuit extérieur.

« Faisons tourner les deux paires de balais de chaque anneau A et B à la même vitesse, par un moyen quelconque. Les pôles se déplaceront sur l'anneau A, qui reçoit le courant de la distribution, bien que l'anneau soit matériellement immobile. Les déplacements des pôles dans A induiront dans B des courants alternatifs qui, convenablement recueillis par les balais tournants du collecteur de l'anneau B, donneront dans le circuit de B un courant continu. La partie du courant transformée en travail se

1. *La Nature*, année 1882. Volume I, page 43.

réduira à la dépense nécessaire pour faire tourner les balais collecteurs, qui, cela va sans dire, seront actionnés par une dérivation prise sur la distribution même. La transformation du courant aura lieu par commutation électro-magnétique. La nature du courant recueilli sur les balais de l'induit B dépendra naturellement de son enroulement, de la puissance du courant qui traverse l'anneau A et de la vitesse des balais.

« Il sera possible aussi de recueillir des courants alternatifs par une simple combinaison de circuits sur l'anneau B. On exprime ce mode spécial de transformation en disant que, au lieu de faire tourner les anneaux, on fait tourner l'induction. Pour simplifier l'explication, nous avons supposé deux anneaux Gramme concentriques. En réalité, la disposition peut être quelconque.

« Les deux fils peuvent, par exemple, être roulés sur le même anneau et réalisent ainsi une bobine d'induction à pôles tournants. Les transformateurs peuvent affecter des formes quelconques, carrée, polygonale, elliptique, être constitués par des parties séparées, placées souvent à distance de la commutation magnétique qui a seule besoin d'être régulière et d'une forme déterminée. »

Transformateur Gaulard et Gibbs. — MM. Gaulard et Gibbs ont les premiers donné une forme pratique aux transformateurs basés sur l'emploi de bobines d'induction et de machines à courants alternatifs. Leurs brevets sont postérieurs à ceux de M. Jablochkoff et de sir Charles Bright; mais leurs appareils ont été appliqués industriellement avant tous les autres.

La figure 282 représente un groupe de transformateurs présenté par MM. Gaulard et Gibbs à Londres, en 1883.

Sur un socle en bois se trouvent quatre colonnes également en bois, entre lesquelles se dresse une série de cylindres composés d'un grand nombre de rondelles en cuivre ayant $0^m,09$ de diamètre extérieur et $0^m,00025$ d'épaisseur. Le trou central a environ $0^m,02$ de diamètre. Chaque rondelle est ouverte par une fente radiale dont les bords sont terminés par deux appendices. Les rondelles successives sont reliées, par leurs deux appendices, respectivement aux deux rondelles placées en

dessus et en dessous de celles considérées. Ces liaisons font de l'ensemble des rondelles superposées une véritable spirale en ruban de cuivre ayant autant de spires qu'il y a de rondelles.

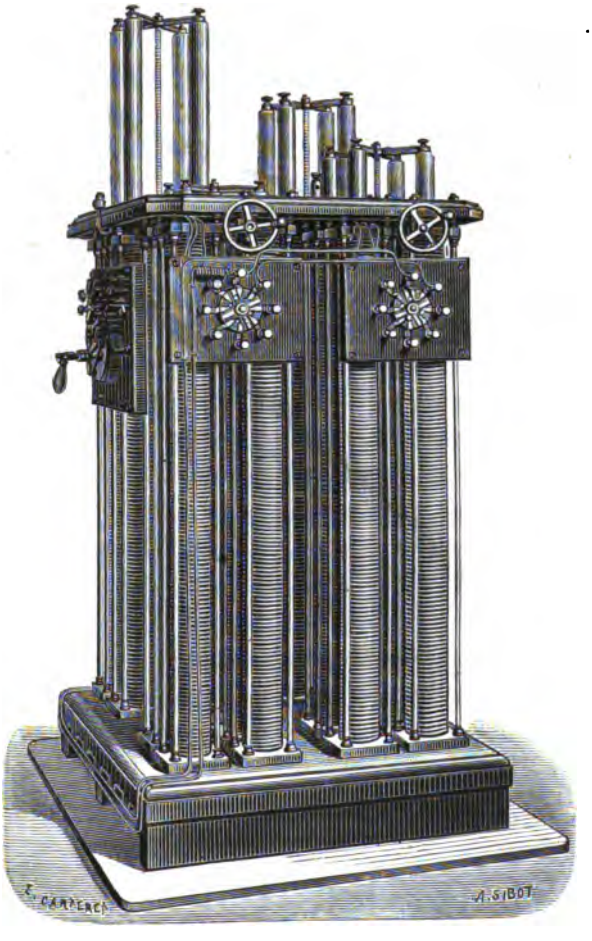


Fig. 282. — Transformateur Gaulard et Gibbs.

Entre deux des rondelles de cette première spirale se trouve intercalée une rondelle en cuivre de même forme, et la réunion de ces autres rondelles fournit une seconde spirale, insérée dans la première et isolée d'elle par un vernis qui couvre ses deux surfaces. Les rondelles sont en outre séparées par des feuilles de papier parcheminé.

Dans le vide laissé à l'intérieur des spirales, pénètre plus ou moins une tige de fer qui renforce l'effet d'une spirale à l'autre ; et l'on peut modifier cet effet en faisant descendre plus ou moins la tige centrale.

Le courant primaire est fourni par une dynamo à courants alternatifs. Les courants secondaires sont toujours alternatifs.

Les rondelles de la spirale secondaire peuvent être couplées en quantité ou en tension, suivant la nature des effets à produire. Tous les fils primaires sont réunis en série. Chaque fil secondaire constitue un circuit particulier.

Dans les transformateurs Gaulard et Gibbs les plus récents, le noyau en fer est fixe et fermé sur lui-même, de manière à accroître encore l'induction provenant des réactions magnétiques de ce noyau, de sorte que chaque appareil peut être considéré comme formé de deux colonnes analogues à celle décrite ci-dessus, avec les noyaux réunis par deux pièces de fer courbes.

M. Galileo Ferraris, professeur au Muséum industriel de Turin a fait, sur la théorie des transformateurs Gaulard et Gibbs, un très beau rapport dont nous extrayons quelques renseignements, afin de donner une idée exacte de la valeur de ces appareils.

Les données principales sur le transformateur soumis aux expériences sont les suivantes :

Nombre des disques de l'hélice primaire.....	455
— — secondaire.....	455
Diamètre des disques.....	114 m/m
— du trou central	54 m/m
Épaisseur des disques de cuivre.	0,25 m/m
Hauteur de la colonne.....	610 m/m
Poids total du cuivre des disques.....	18,280 kg.
— de l'appareil..... environ.	20 kg.
Nombre des parties égales constituant la division de l'hélice secondaire.....	4
Résistance de l'hélice primaire à la température de 13°..	0,276 ohm.
Résistance de l'hélice secondaire à la même température lorsque les quatre parties sont réunies en circuit simple	0,286 ohm.

Intensité du courant primaire avec laquelle l'appareil doit fonctionner habituellement et avec laquelle il a fonctionné pendant les expériences..... environ.	12 ampères.

La machine dynamo-électrique Siemens qui fournissait le courant primaire faisait, pendant l'expérience, en moyenne 670 tours par minute. Les bobines mobiles de la machine étaient au nombre de 24; on avait donc 16080 inversions de courant par

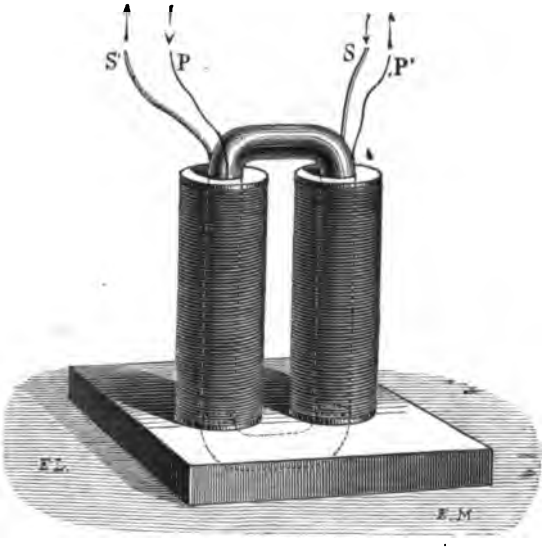


Fig. 283. — Principe du transformateur Zipernowsky.

minute, c'est-à-dire 268 par seconde. La machine était commandée par un moteur à vapeur de 140 chevaux, actionnant en même temps d'autres machines. Ceci donnait souvent lieu à des variations sensibles qu'on n'a jamais pu éviter complètement.

M. Ferraris a fait ses expériences en substituant au transformateur une résistance sans self-induction, telle que la différence de potentiel entre ses extrémités fût la même que celle qui existait entre les bornes du transformateur, et en mesurant au moyen d'un calorimètre l'énergie dépensée sous forme de chaleur dans cette résistance.

Dans ces conditions le rendement utile est resté sensible-

ment égal à 92 pour 100; c'est là, il faut en convenir, un très beau résultat qui fait grand honneur à MM. Gaulard et Gibbs.

Transformateurs Zipernowsky. — Ces appareils, dus à la collaboration de MM. Zipernowsky, Déri et Blathy, diffèrent des transformateurs Gaulard et Gibbs par leur forme extérieure, par leur construction intérieure et par les moyens de régler la dépense de la dynamo génératrice.

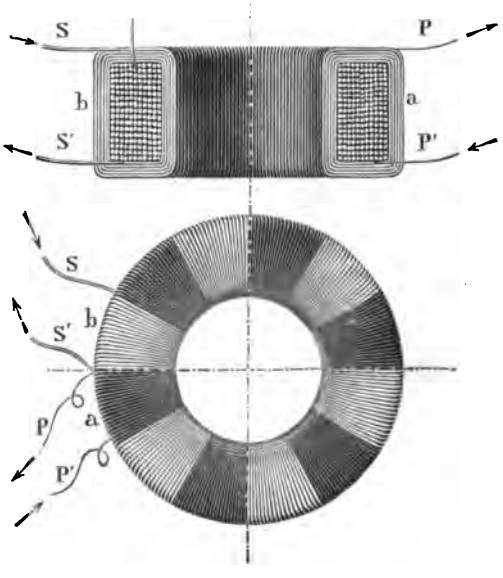


Fig. 284. — Transformateur Zipernowsky (1re disposition).

En principe le transformateur Zipernowsky comprend un noyau de fer doux (Fig. 283) présentant la forme d'un cadre fermé sur lequel sont enroulés alternativement les fils inducteurs P P′ et les fils induits S S′.

Les inventeurs ont généralement adopté la disposition préconisée par M. Gramme (Fig. 284). Dans cette bobine, le fer massif est remplacé par un faisceau de fils de fer doux, et les sections de rang pair *a* sont couplées pour former le circuit inducteur P P′, tandis que les sections de rang impair *b*, également couplées, constituent le circuit induit S S′.

Dans un autre type (Fig. 285), les inventeurs ont composé le

noyau central avec des fils de cuivre isolés formant deux ou plusieurs hélices. Ces fils sont pliés en cercle, entourés d'une enveloppe isolante et finalement bobinés avec du fil de fer fin et isolé. Les courants primaire et secondaire circulant dans les fils de cuivre ainsi que les lignes de force circulant dans les fils de fer se coupent à angles droits. Les fils de fer sont vernis et garnis de coton ; ils servent, non seulement comme conducteurs magnétiques, mais encore comme enveloppe protectrice pour les fils de cuivre, dont les extrémités S S′ et P P′ sortent par une fente ménagée à travers ladite enveloppe.

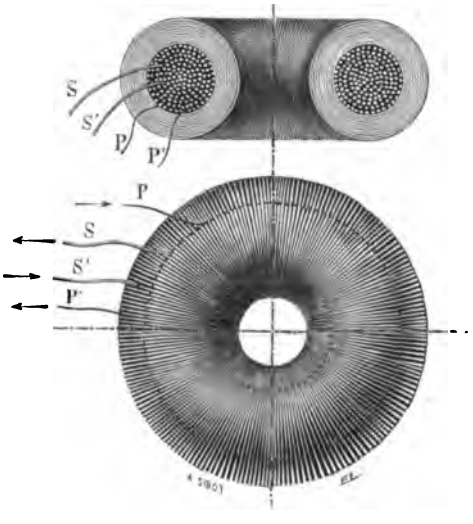


Fig. 285. — Transformateur Zipernowsky (2e disposition).

Ce que MM. Zipernowsky, Déri et Blathy revendiquent le plus particulièrement dans leurs combinaisons, c'est l'établissement de leurs transformateurs en dérivation et le maintien d'une différence de potentiel constante entre les bornes du courant primaire. A cet effet, ils ont placé dans le circuit excitateur une source indépendante de courant, fournie par un petit transformateur appelé *compensateur*, dont l'intensité n'est pas constante mais dépend directement du courant principal. Ce compensateur a deux hélices, l'une traversée par le courant principal, l'autre intercalée dans le circuit excitateur.

La figure 286 montre l'aspect extérieur d'un transformateur Zipernowsky. A et B, C et D sont les bornes auxquelles aboutissent les extrémités des fils primaire et secondaire.

M. Galileo Ferraris, d'une part, et MM. Peukert et Keckler, d'autre part, ont fait de nombreuses expériences sur cet ingénieux transformateur, et leurs conclusions méritent d'être reproduites ici.

M. Ferraris a comparé les appareils à rondelles superposées et les appareils annulaires, et il est arrivé à démontrer que les premiers étaient inférieurs aux seconds.

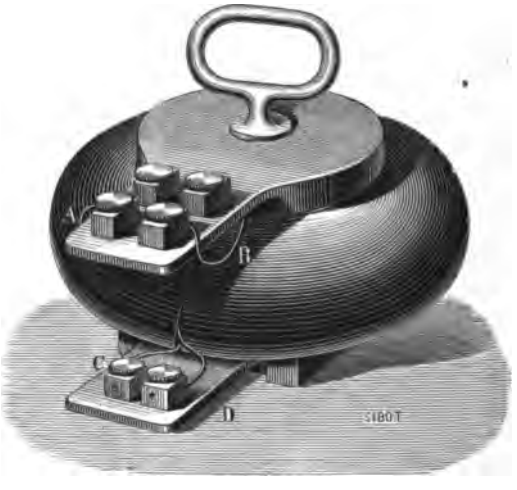


Fig. 286. — Transformateur Zipernowsky (vue extérieure).

« Les comparaisons que nous venons de faire, dit en terminant l'éminent savant italien, suffisent à démontrer que la forme du transformateur annulaire est de beaucoup supérieure à celle des transformateurs à disques ; et ceci s'explique aisément, car on peut démontrer *a priori* que la forme annulaire est, non seulement rationnelle, mais encore qu'elle est peut-être la meilleure de toutes celles que l'on pourrait imaginer à l'effet d'obtenir de grands coefficients d'induction avec de petites résistances et de faibles poids de cuivre. »

Voici, d'après *l'Électricien*, les principales données du transformateur étudié par MM. Peukert et Keckler :

Puissance	1400 watts effectifs.
Différence de potentiel aux bornes du circuit primaire	300 volts.
Alternativités	100 par seconde.
Résistance : circuit primaire	0,943 ohm.
— circuit secondaire	0,107 —
Coefficient de transformation	1/5.

Les courants alternatifs étaient produits par une machine Siemens avec 8 induits en tension, excitée par une machine Schuckert à anneau plat.

La mesure des intensités a été prise contradictoirement avec un électro-dynamomètre Siemens et avec un calorimètre.

Ce calorimètre était composé d'un double fil de maillechort enroulé en spirales de 71 millimètres de diamètre ($R = 1,66$ ohm à 15° centigrades). Cette double spirale traversait un tube de cuivre à parois épaisses, de 16 centimètres de diamètre et 22 centimètres de hauteur, établi sur un socle en bois. Les extrémités des fils calorimétriques venaient aboutir à des bornes isolées, après avoir traversé le couvercle du calorimètre dans lequel était ménagée une ouverture permettant l'introduction d'un thermomètre. Le liquide employé était de l'eau distillée. L'ensemble du calorimètre était protégé du refroidissement par une enveloppe isolante en flanelle.

Le rendement du transformateur étant le rapport du produit ei de la différence de potentiel aux bornes et de l'intensité du courant pour le circuit secondaire, au produit EI, relatif au circuit primaire, on a déterminé très exactement ces quatre quantités.

L'eau du calorimètre a été pesée avec soin; la chaleur spécifique du cuivre a été prise égale à 0,095. Pour la mesure de la résistance du calorimètre, la résistance du liquide a été déterminée aux températures initiale et finale, et la résistance spécifique du maillechort a été calculée sur la base d'une variation de 0,046 pour 100 par degré centigrade. L'intensité a été déterminée par les méthodes calorimétriques connues. Les résultats fournis par le calorimètre ont d'ailleurs concordé d'une façon satisfaisante avec ceux accusés par l'électro-dynamomètre.

Le tableau suivant résume les chiffres moyens résultant d'un grand nombre d'expériences :

COURANT primaire. I Ampères.	F. E. M. primaire. E Volts.	COURANT secondaire. *i* Ampères.	F. E. M. secondaire. *e* Volts.	PUISSANCE reçue. E I Watts.	PUISSANCE rendue. *ei* Watts.	RENDEMENT η pour 100.	ALTERNATIVITÉS par seconde.
2,71	125,5	12,42	24,0	340,10	298,08	87,6	102
3,00	142,5	14,36	26,4	427,50	379,10	88,6	102
4,37	191,3	20,91	35,6	836,80	743,66	88,9	100
4,83	208,9	23,47	39,5	1008,98	927,06	91,8	109

Transformateurs Diehl. — Les transformateurs de M. Diehl font partie intégrante des lampes.

L'ampoule de ces lampes consiste en deux cylindres de verre fermés par un bout et introduits l'un dans l'autre. Les extrémités libres sont soudées ensemble à la lampe d'émailleur.

Le cylindre intérieur est garni d'une grande quantité de spires de fil fin, isolées entre elles et supportant le filament à leurs bouts libres. Dans l'espace central (à l'intérieur du petit tube), se trouve une tige en fer garnie de quelques spires d'un gros fil, dont les extrémités sont reliées aux bornes de la lampe.

En mettant ces bornes en communication avec un générateur d'électricité à courants alternatifs, on induit dans les spires de fil fin des courants ayant assez de tension pour porter le filament à l'incandescence.

Pour éviter l'emploi de courants alternatifs et pour pouvoir placer sur un même circuit des régulateurs à arc et des lampes à incandescence, M. Diehl a récemment imaginé un interrupteur qui, animé d'un mouvement rapide de rotation, envoie alternativement dans deux circuits spéciaux des courants variables, et cela sans que le courant principal sur lequel sont placés les régulateurs soit jamais interrompu.

La rotation de cet interrupteur crée des variations de courant dans les bobines primaires, et celles-ci, à leur tour, indui-

sent des courants secondaires qui traversent les lampes et produisent l'éclairage à incandescence.

Dans ses nouvelles lampes (Fig. 287), l'inventeur place le fil

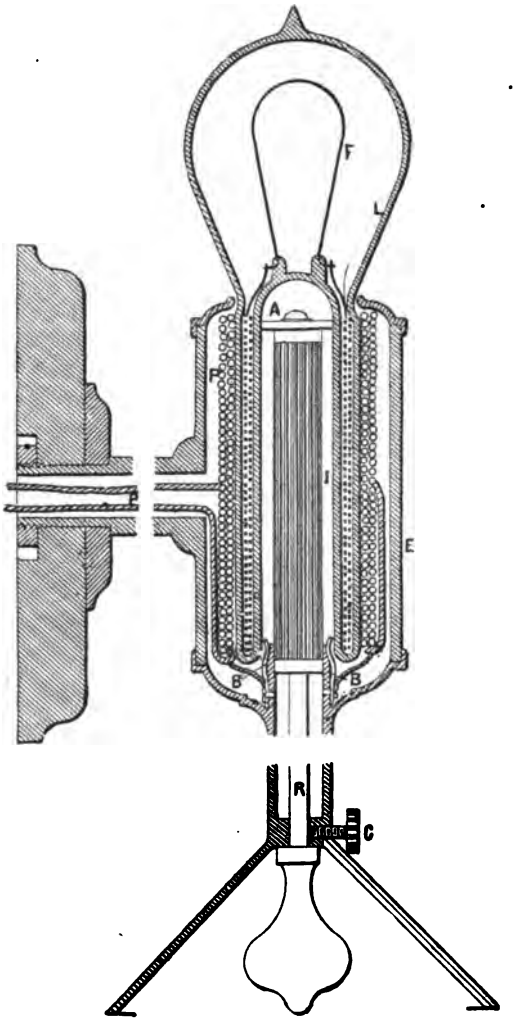


Fig. 287. — Transformateur Diehl.

inducteur P autour du cylindre L et il dispose dans l'espace intérieur A, un noyau en fer I muni d'une tige R et d'une vis C, servant de régulateur et de robinet de fermeture. Le filament F est relié au fil induit. L'enveloppe E repose sur le support BB.

Transformateurs Paris et Scott. — L'appareil combiné par MM. Paris et Scott est caractérisé, comme celui de M. Gramme, par un anneau muni de deux enroulements dont les électro-aimants sont excités en dérivation aux bornes du circuit secondaire.

Pour faciliter la mise en marche, les inventeurs ont ajouté quelques tours de conducteur primaire sur les noyaux de l'inducteur.

Le nombre des tours du circuit primaire dans l'induit est quatre fois aussi considérable que celui du circuit secondaire, la section du fil primaire est, par contre, trois fois plus faible que celle du fil secondaire.

Voici le résultat d'une expérience faite en 1887, à Newcastle, sur un transformateur Paris et Scott :

Watts absorbés par le conducteur primaire.....		3612
— dépensés en chaleur dans le conducteur primaire.	160	
— — — dans le conducteur secondaire.	111	
— — — dans les électro-aimants	132	
— — en frottements.....	110	
Total des pertes.....	———	513
Watts recueillis dans le conducteur secondaire		3099

Le rendement commercial était donc de 86 pour 100.

Transformateur Edison. — M. Edison a imaginé plusieurs dispositions de transformateurs à courant continu, en employant soit des anneaux Gramme à double enroulement, soit des bobines primaires et secondaires enroulées par paires sur des anneaux en fer. Dans ce dernier cas, les balais primaires tournent autour des collecteurs; le courant primaire est renversé deux fois par tour dans chaque bobine et un courant est induit dans les bobines secondaires. Ce courant est recueilli par une série de balais fixes.

Transformateurs Westinghouse. — La Compagnie Westinghouse, qui possède les brevets Gaulard et Gibbs pour les États-Unis, a étudié une série d'appareils : dynamos, transformateurs, brûleurs, etc..., pour utiliser pratiquement les courants alternatifs à hauts potentiels à l'éclairage public et privé.

Parmi ces appareils nous nous bornerons à mentionner les

transformateurs (Fig. 288, 289, 290 et 291) qui sont d'une construction économique et d'un emploi commode.

Les bobines primaire et secondaire sont placées côte à côte; les lignes de force sont concentrées par une carcasse en

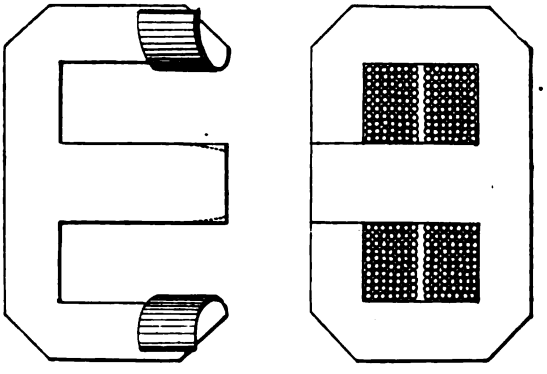


Fig. 288. Fig. 289.

Transformateur Westinghouse.

fer doux, formée d'une série de plaques minces découpées dans des tôles et introduites dans les bobines au moyen du relèvement de deux branches (Fig. 288), abaissées dès que la pièce

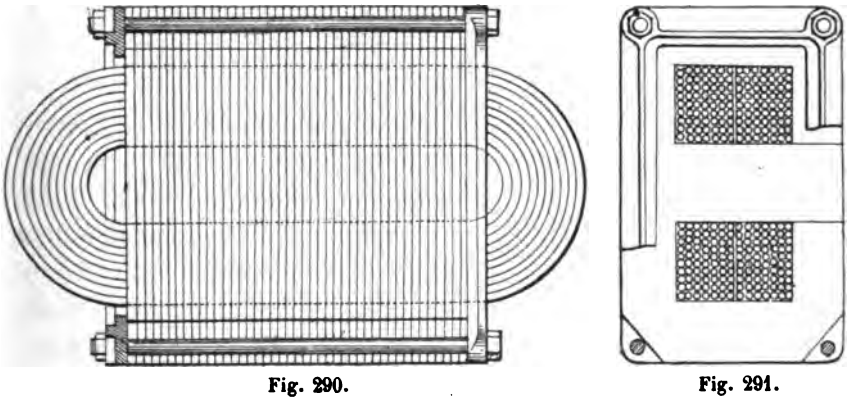


Fig. 290. Fig. 291.

Détails du transformateur Westinghouse.

est en place. Les joints sont alternés. Les tôles sont séparées l'une de l'autre et isolées au moyen de papier verni ; elles sont ensuite réunies par deux plaques de fonte et serrées fortement au moyen de quatre boulons.

Ainsi constitués, ces transformateurs sont renfermés dans des boîtes en fonte, bien closes. Les bornes des deux circuits aboutissent dans deux chambres séparées auxquelles deux regards donnent accès. Les coupe-circuits et les manchons de connexion sont également placés dans ces boîtes.

Lorsque les conducteurs sont aériens, les transformateurs sont fixés au sommet de candélabres en fonte d'un très bel aspect. Les deux fils supérieurs, peu accessibles au public, appartiennent au circuit primaire à haute tension. Les deux fils inférieurs, plus faciles à aborder, appartiennent aux circuits secondaires à faible chute de potentiel.

Transformateurs divers. — Il existe encore une foule de combinaisons ayant le même but ; mais peu sont appliquées dans l'industrie. Nous nous bornerons à mentionner, pour terminer ce chapitre, les appareils Kennedy à anneau Pacinotti ; ceux de Dick, composés de tôles rectangulaires enfilées dans une bobine ; ceux de Ferranti, constitués au moyen de lames minces recourbées par dessus et par dessous les bobines et formant un excellent circuit magnétique ; et ceux de Jehl et Rupp, à courants continus, formés d'un anneau primaire Gramme et d'un tambour secondaire Siemens, le second introduit dans l'intérieur du premier et animé d'un mouvement de rotation.

Distributions avec l'emploi des transformateurs. — La distribution des foyers peut, avec l'emploi des transformateurs, se faire en dérivation, en série, ou suivant un montage mixte.

Dans le système en dérivation, chaque transformateur fonctionne comme une dynamo compound fournissant le courant sous potentiel constant. Deux conducteurs principaux partent de la dynamo, et les transformateurs se trouvent disposés en dérivation sur ces conducteurs, puis chacun d'eux alimente séparément un groupe de lampes. L'inconvénient de ce système est de mettre hors d'action toutes les lampes d'un groupe si un des transformateurs se détériore. Pour y remédier, il suffit d'employer plusieurs transformateurs branchés sur les conducteurs principaux et de réunir les circuits secondaires de chaque groupe.

M. Kennedy, pour éviter la construction de dynamos à haut potentiel, se sert de dynamos à faible tension et élève cette tension au moyen d'un premier transformateur qui envoie le courant primaire dans la canalisation.

Dans le système en série, tous les transformateurs sont placés en tension sur le circuit primaire, et les lampes en tension sur le circuit secondaire.

Les lampes employées doivent être alors à faible tension et à fort courant, comme celles de M. Bernstein, par exemple.

Pour les régulateurs à arc voltaïque, le montage en série donne de bons résultats et son installation est très économique.

Le système mixte consiste à placer les transformateurs en série sur le circuit principal, et les lampes en dérivation aux bornes du circuit secondaire.

Pour que le potentiel reste constant aux bornes du circuit secondaire, il faut que la résistance ne change pas, ce qui force à remplacer chaque lampe éteinte par une résistance équivalente.

Quand le nombre des lampes allumées dans les circuits secondaires ne varie jamais, le système mixte et le système en série deviennent identiques. Il suffit pour cela d'allumer et d'éteindre en une seule fois toutes les lampes dépendant du même transformateur.

Au lieu d'une résistance métallique remplaçant une lampe qu'on éteint, il est préférable de mettre une bobine à self-induction considérable, jouissant de la propriété d'empêcher le passage des courants alternatifs par la force contre-électromotrice qu'ils créent, et cela avec une perte d'énergie insignifiante.

Cette curieuse propriété de la self-induction des bobines a été mise en pratique pour la première fois par M. Gordon en Angleterre et par M. Elihu Thomson en Amérique; elle conduit à une grande économie dans l'établissement des conducteurs secondaires, lorsqu'on adopte le système mixte pour le montage des appareils.

Nous n'insistons pas davantage sur l'intéressante question des transformateurs, parce que l'expérience ne s'est pas encore

suffisamment prononcée sur l'emploi industriel de ces appareils; nous devons toutefois faire remarquer qu'ils constituent une des parties les plus originales du matériel électrique et que l'avenir des grandes distributions d'éclairage leur est probablement réservé.

TROISIÈME PARTIE

PRIX DE REVIENT

CHAPITRE XVI

TRAVAIL ABSORBÉ DANS L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Exposé du problème. — La lumière est la cause des sensations lumineuses, c'est-à-dire des sensations qui nous sont transmises par le nerf optique; ce n'est pas une forme de l'énergie ayant un équivalent mécanique ou calorifique, c'est une des conséquences de la chaleur, fonction de la température[1].

Nous avons vu dans les chapitres précédents que la quantité de lumière émise par un corps incandescent était d'autant plus

1. Il ne nous est pas possible d'entrer dans des considérations théoriques sans nous éloigner de notre but; nous pouvons seulement rappeler aux personnes qui se sont déjà occupées d'optique l'hypothèse généralement admise pour expliquer les phénomènes lumineux.

L'espace est occupé par une substance impondérable appelée *éther*, ayant son équilibre constamment dérangé par la matière pondérable, dont les mouvements moléculaires se transmettent à cette substance et sont, à leur tour, excités par ses mouvements.

Les mouvements déterminés dans l'éther par la matière pondérable sont des mouvements vibratoires très complexes, sommes de mouvements périodiques simples. L'œil est affecté par ces vibrations dont les périodes sont comprises entre certaines limites réglées par sa constitution, vibrations qui ne sont émises en général que par des corps portés à une haute température. Chacune des périodes comprises entre ces limites correspond à une sensation ou couleur particulière. Lorsque les vibrations, quelle que soit leur période, sont reçues par un corps noir, celui-ci les absorbe intégralement en s'échauffant. La quantité de chaleur produite mesure la quantité d'énergie cédée par le corps lumineux à l'éther pour lui communiquer le mouvement complexe qui l'anime et dont une faible fraction seulement agit sur l'œil. La sensation pour chaque espèce de mouvement dépend de l'amplitude de la période, et est nulle quand la période dépasse certaines limites; aussi n'a-t-elle aucun rapport avec l'énergie qui arrive à l'œil.

On définit la *quantité de lumière* en disant que, si l'œil reçoit de la lumière de deux sources, elle est la somme des intensités reçues de chaque source individuellement.

grande, pour une dépense d'énergie donnée, que la température était plus élevée. Dans toutes les expériences réalisées jusqu'à ce jour, on n'a pas encore atteint une température telle que sous son régime la lumière reste proportionnelle à la chaleur consommée ; on peut donc être fondé à croire que, si l'on possédait des moyens d'élever considérablement les températures, on augmenterait également considérablement la quantité de lumière émise par calorie dépensée.

La seule chose qui soit hors de doute, c'est que, pour deux foyers lumineux d'inégales intensités, ayant la même température et la même coloration, la lumière émise est proportionnelle à l'énergie mise en jeu.

Si l'on veut se rendre compte des conditions économiques d'une installation, il faut déterminer : 1° le rendement des moteurs ; 2° celui des dynamos ; 3° celui de la ligne ; et 4° celui des brûleurs. Le produit des quatre nombres trouvés donne le rendement final, c'est-à-dire le rapport entre la lumière obtenue et l'énergie consommée.

Nous n'avons pas à rechercher ici quel est le rendement des moteurs généralement employés pour produire de la lumière électrique ; nous rappellerons seulement que les meilleures machines à vapeur, alimentées par de bonnes chaudières, consomment environ un kilogramme de houille par cheval-heure, c'est-à-dire par 270 000 kilogrammètres. Un kilogramme de houille contient, en moyenne, 7000 calories ; une calorie équivaut à 424 kilogrammètres ; d'où il résulte que, si toute la chaleur était transformée en travail, on obtiendrait avec ce charbon 2975000 kgm. Le rendement est ainsi de $\frac{270\,000}{2\,975\,000} = 0{,}09$.

Dans les applications de faible importance, avec un service journalier de peu de durée, ce rendement descend souvent à 0,02[1]. La perte résultant de cette transformation varie ainsi entre 91 et 98 pour 100, et cela malgré les grands progrès réalisés depuis un siècle dans la construction des machines à vapeur.

1. En 1886, au palais de l'Industrie, nous avons maintes fois constaté qu'une locomobile de 20 chevaux, mise en feu pour assurer un éclairage d'une durée de deux heures, dépensait de 180 à 240 kilogrammes de charbon, ce qui correspond à 5 kilogrammes par cheval-heure effectif.

Rendement des dynamos. — Nous avons indiqué, page 124, les procédés à employer pour déterminer les rendements électrique et industriel des dynamos; il est donc inutile de revenir sur ces procédés autrement que pour en rappeler les principes et pour présenter un certain nombre de résultats d'expériences.

Le rendement *industriel* ou *commercial*, le seul qui soit réellement à considérer dans une installation d'éclairage, est le quotient de la puissance électrique obtenue par la puissance mécanique dépensée; il tient compte de toutes les pertes survenues pendant la transformation du travail mécanique en travail électrique, tandis que le rendement électrique ne tient compte que des pertes occasionnées par la résistance intérieure de l'induit et de l'inducteur. Ces deux rendements sont souvent proportionnels entre eux, car les bonnes machines ont généralement, en même temps, un grand rendement électrique et un grand rendement industriel. Il peut cependant arriver que le constructeur soit amené à augmenter la résistance intérieure d'une dynamo, en vue d'en diminuer les frottements mécaniques ou les pertes accessoires, d'où il résulte qu'un meilleur rendement électrique n'est pas l'indice certain de la supériorité d'une dynamo sur une autre.

Pour juger convenablement de la valeur économique d'une dynamo, il faut la soumettre à une marche de longue durée à pleine charge, et mesurer, à l'aide d'un dynamomètre ou d'un frein de Prony, substitué momentanément à la charge, la puissance absorbée; puis noter le nombre de volts et d'ampères du courant engendré. Ces mesures et constatations doivent être faites alors que la dynamo a fonctionné au moins 10 heures de suite, et complétées par l'examen des températures de l'induit et de l'inducteur. Il n'y a là aucune difficulté; il suffit d'un peu d'attention pour mener les essais à bonne fin, surtout quand on dispose d'instruments bien étalonnés et bien vérifiés avant chaque expérience.

Les Expositions d'électricité de Paris, de Munich et d'Anvers ont été l'occasion d'expériences assez précises sur le rendement industriel des dynamos à courant continu. Voici quelques-uns des résultats obtenus :

EXPÉRIENCES DE 1881.

SYSTÈMES.	NOMBRE de TOURS par minute.	PUISSANCE MÉCANIQUE dépensée en chevaux.	PUISSANCE ÉLECTRIQUE aux bornes, en chevaux.	RENDEMENT INDUSTRIEL.
Gramme n° 1	475	16,13	9,36	0,58
— n° 2	1 695	8,11	4,73	0,58
— n° 3	1 496	8,00	5,40	0,67
Siemens n° 1.....	737	4,44	2,72	0,62
— n° 2.....	1 330	5,31	2,31	0,62
— n° 3.....	826	5,05	3,82	0,75
Maxim	1 017	4,07	2,69	0,66
Bürgin	1 535	5,32	3,78	0,71
Weston.....	1 003	13,01	11,08	0,84
Jurgensen	800	21,69	16,01	0,73
Brush n° 1.....	770	13,39	9,96	0,76
— n° 2.....	700	29,96	22,21	0,74
— n° 3.....	705	33,35	21,77	0,65

Chargé, en notre qualité de président du syndicat des électriciens, de diriger les services de l'éclairage et de la force motrice à l'Exposition de 1881, nous avons fait cette curieuse remarque que les meilleures machines étaient précisément celles qui avaient le plus faible rendement industriel. Nous trouvons, en effet, dans les rapports de l'ingénieur du syndicat que les machines Gramme et les machines Siemens n°s 1 et 2 ont fonctionné très régulièrement, sans aucun arrêt, pendant toute la durée de l'Exposition, tandis que la machine Weston, pour n'en citer qu'une, n'a pu faire qu'un service très défectueux et tout à fait intermittent pendant six semaines, et qu'elle a dû être remplacée par une machine Gramme.

Ce fait prouve que la connaissance du rendement industriel d'une dynamo ne suffit pas pour en juger la valeur réelle. Un rendement élevé est naturellement très recherché ; un bon fonctionnement est la qualité essentielle, celle qui prime toutes les autres.

EXPÉRIENCES DE 1882.

SYSTÈMES.	NOMBRE de TOURS par minute.	PUISSANCE MÉCANIQUE dépensée en chevaux.	PUISSANCE ÉLECTRIQUE aux bornes, en chevaux.	RENDEMENT INDUSTRIEL.
Schuckert.....	900	8,00	5,10	0,6370
—	853	6,36	4,38	0,6900
—	800	5,30	3,82	0,7207
Schwerd	1 000	5,84	3,99	0,6840
—	1 012	5,90	3,97	0,6720
Bürgin	1 500	6,00	3,78	0,6300
Schœnemann	1 500	3,00	1,29	0,4300
Edelmann	1 502	1,22	0,461	0,3780
Einstein.....	802	2,45	0,573	0,2340
Edison Z.....	1 074	9,29	5,44	0,5860
— E.....	2 409	3,39	1,77	0,5200

C'est à l'Exposition de Munich que, pour la première fois, les machines Edison furent expérimentées en Europe. Elles avaient été installées si tardivement à l'Exposition de Paris qu'il n'avait pas été possible de les soumettre à l'examen du jury; cependant nous avions déjà constaté la régularité de leur marche et l'absence d'étincelles nuisibles au collecteur. On ne pouvait guère leur reprocher que leur encombrement, leur faible rendement et leur prix élevé, trois défauts qui ont aujourd'hui complètement disparu, grâce surtout, comme nous l'avons déjà dit, aux travaux du Dr John Hopkinson.

La meilleure machine essayée à Munich était, à tous les points de vue, celle de M. Schuckert de Nuremberg, à anneau plat, étudiée conformément aux dispositifs du brevet Gramme de 1869, et très bien construite dans toutes ses parties. Les deux grands producteurs de dynamos, MM. Gramme et Siemens, n'exposaient pas.

EXPÉRIENCES DE 1886.

SYSTÈMES.	NOMBRE de TOURS par minute.	PUISSANCE MÉCANIQUE dépensée en chevaux.	PUISSANCE ÉLECTRIQUE aux bornes, en chevaux.	RENDEMENT INDUSTRIEL.
Brush	1 080	5,10	3,48	0,68
Crompton	1 375	7,73	6,28	0,81
Ducommun	1 620	5,79	3,125	0,54
Gramme	1 530	10,00	6,28	0,63
Jaspar	1 950	8,21	5,86	0,71
Victoria	775	16,10	12,54	0,78
Gülcher	462	22,65	15,20	0,67
—	318	36,80	25,65	0,70

Les expériences faites en 1885 à la suite de l'Exposition d'Anvers ont été réalisées dans d'excellentes conditions et par des professeurs émérites ; malheureusement ni M. Gramme ni M. Siemens n'exposaient. La machine Gramme soumise aux essais avait été prêtée par une société belge, sans avoir été vérifiée préalablement et sans que l'inventeur eût indiqué à quel régime normal il fallait la soumettre : de là le faible rendement observé. Nous avons eu l'occasion d'expérimenter deux dynamos du même type, exécutées en même temps, avec les mêmes matériaux et les mêmes ouvriers que celle essayée à Anvers, et nous avons trouvé un rendement industriel de 0,798 après une marche ininterrompue de 15 heures.

Rendement des dynamos en 1888. — La comparaison des trois tableaux précédents semblerait indiquer que peu de progrès ont été réalisés, de 1881 à 1886, dans la fabrication des dynamos ; cependant les principaux constructeurs n'ont jamais cessé d'améliorer leurs modèles, aussi bien en vue d'en réduire le prix qu'en vue d'en augmenter le rendement. Aujourd'hui les maisons Gramme, Edison, Siemens, Schuckert, Mather et Platt, Crompton, Weston et quelques autres de moindre importance, livrent cou-

ramment des machines ayant un rendement industriel de 0,85 à 0,90 lorsque les inducteurs ont des noyaux en fer, et un rendement industriel de 0,80 à 0,85 lorsque les inducteurs ont des noyaux en fonte.

Les machines commerciales ordinaires, même parmi les moins bien étudiées, ont maintenant un rendement industriel de 0,65 à 0,70. Quelques dynamos, exceptionnellement soignées, produisent une puissance électrique atteignant 0,95 de la puissance mécanique dépensée.

Comme on le voit, il est impossible de faire mieux, et le problème de la transformation du travail mécanique en travail électrique a reçu une solution pratique, complète, définitive.

Rendement de la ligne. — Le rendement des conducteurs qui relient les dynamos aux brûleurs lumineux dépend essentiellement de la nature des substances employées et de leurs sections. Généralement on se sert pour cet usage de cuivre affiné ayant 0,95 à 0,98 de la conductibilité du cuivre chimiquement pur. Quant aux sections, on les proportionne naturellement aux intensités des courants employés.

Dans les grandes installations industrielles, on étudie la canalisation de manière à ne lui laisser absorber que 0,8 à 0,10 de la puissance électrique totale. Pour les stations centrales, on est souvent obligé de doubler cette perte pour éviter une dépense exagérée de premier établissement.

Au moyen des transformateurs, on peut diminuer considérablement la perte due aux conducteurs, même dans les canalisations de grande étendue; il y a là un équilibre à chercher entre la dépense supplémentaire de puissance mécanique et l'intérêt du capital à engager pour atteindre ce résultat. Le plus souvent on préfère réduire les frais d'installation, sauf à augmenter un peu la quantité de combustible dépensée par les moteurs. Le rendement de 10 pour 100 peut être considéré comme une bonne moyenne dans la plupart des cas, et servir de base dans un projet quelconque d'éclairage électrique.

Rendement des brûleurs. — Le rendement des brûleurs peut

donner lieu à deux ordres de recherches différents, suivant qu'on désire connaître la quantité de lumière produite pour une dépense donnée de travail électrique, ou le rapport existant entre la puissance utilisée en radiations lumineuses et la puissance totale consommée.

Le dernier rapport est ce que nous avons appelé *rendement optique*; il est d'environ 0,05 pour les lampes à incandescence et d'environ 0,10 pour les régulateurs à arc voltaïque. Les expériences, qui ont servi de base à ces évaluations et que nous avons relatées page 153, ne sont ni assez nombreuses ni assez concluantes pour mériter une créance absolue. Nous ne les avons signalées que pour indiquer les efforts tentés dans une voie fort intéressante pouvant par la suite amener de grands progrès dans l'industrie de l'éclairage à l'électricité.

Ce que nous pouvons examiner dès maintenant, avec documents précis à l'appui, c'est le rendement lumineux d'un brûleur, lampe ou régulateur, ramené à la consommation d'un *watt*, unité de puissance électrique.

Expériences diverses sur l'arc voltaïque. — Pour déterminer le rendement lumineux d'un régulateur ou d'une bougie, on mesure la chute de potentiel et le courant aux bornes de l'appareil; puis on mesure l'intensité lumineuse par les procédés photométriques que nous avons indiqués page 184. On exprime le rendement en watts par bougie ou par bec carcel.

Afin de montrer l'avantage des courants continus sur les courants alternatifs dans l'éclairage à arc et pour comparer entre eux divers crayons électriques, nous avons fait, en 1878, une série d'expériences au moyen de deux machines Gramme, produisant sensiblement des courants de même intensité, les uns continus, les autres alternatifs, et en prenant des mesures photométriques dans douze directions différentes, suivant la méthode par lumière directe exposée sommairement, page 186.

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus avec un courant continu d'environ 20 ampères et des crayons de 13 mm. de diamètre.

VUE EN DESSOUS.		VUE EN DESSUS.		OBSERVATIONS.
INCLINAISON sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	INTENSITÉ lumineuse en becs carcels.	INCLINAISON sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	INTENSITÉ lumineuse en becs carcels.	
0°	225	0°	225	La puissance absorbée était de 202 kgm. par seconde. L'écart entre les pointes de 3 mm. L'usure des crayons de 0m,07 à l'heure.
15°	400	15°	144	
30°	822	30°	130	
45°	1 175	45°	119	
60°	1 325	60°	79	
75°	1 051	75°	21	
90°	0	90°	12	

En prenant la moyenne des intensités mesurées sous 24 angles (12 à droite et 12 à gauche), nous avons trouvé 448 becs, c'est-à-dire une intensité double de celle observée horizontalement. Nous avions donc pensé qu'il suffisait de prendre une mesure horizontale et de la doubler pour obtenir l'intensité moyenne; mais les mêmes expériences répétées avec des courants plus grands ou plus petits et avec des charbons de diamètres différents ont démontré que ce rapport de 1 à 2 ne se présentait que rarement, et que, pour avoir l'intensité moyenne, il fallait appliquer la formule :

$$S = \frac{H}{2} + \frac{M}{4}$$

dans laquelle S est l'intensité moyenne,

H l'intensité prise horizontalement,
M l'intensité maxima.

Cette formule donne dans le cas particulier cité plus haut :

$$S = \frac{225}{2} + \frac{1325}{4} = 443 \text{ becs},$$

nombre qui diffère très peu de celui que nous avons obtenu en doublant l'intensité prise horizontalement.

Avec les courants alternatifs, les résultats furent très différents. Le maximum d'intensité, observé précédemment à 60° au-dessous de l'horizontale, s'est trouvé à 15° également au-dessous de l'horizontale. L'intensité mesurée horizontalement s'est trouvée rigoureusement la même qu'avec un courant continu; mais là s'est arrêtée la similitude entre les deux expériences.

Voici les intensités mesurées suivant les mêmes angles que dans le premier cas :

VUE EN DESSOUS.		VUE EN DESSUS.		OBSERVATIONS.
INCLINAISON sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	INTENSITÉ lumineuse en becs carcels.	INCLINAISON sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	INTENSITÉ lumineuse en becs carcels.	
0°	225	0°	225	La puissance employée était de 205 kgm. par seconde. L'écart des pointes de 3 mm. L'usure des crayons de 0m,06 par heure.
15°	230	15°	207	
30°	225	30°	195	
45°	207	45°	180	
60°	180	60°	160	
75°	127	75°	140	
90°	0	90°	0	

La moyenne des 24 observations donne une intensité de 160 becs carcels, c'est-à-dire le tiers environ de celle obtenue avec un courant continu.

Pour rendre cette infériorité appréciable à première vue, nous avons tracé les courbes (Fig. 292) en divisant la circonférence en vingt-quatre parties égales et en limitant chaque rayon proportionnellement aux intensités observées. Les courbes obtenues avec les courants alternatifs sont très régulières et diffèrent peu de deux ellipses, tandis que celles obtenues avec les courants continus sont très allongées à leur partie inférieure et ont, un peu au-dessus de l'horizontale, une légère inflexion qui a été depuis constatée par un grand nombre d'expérimentateurs, notamment par les membres de la Commission de l'Exposition d'Anvers.

D'après les résultats obtenus dans nos premiers essais sur les régulateurs à arc voltaïque, l'intensité sphérique moyenne était égale à l'intensité mesurée horizontalement et multipliée par 0,70. De nouvelles expériences plus précises et plus nombreuses nous ont démontré que le coefficient 0,70 devait être élevé jusqu'à 0,90 dans la plupart des cas.

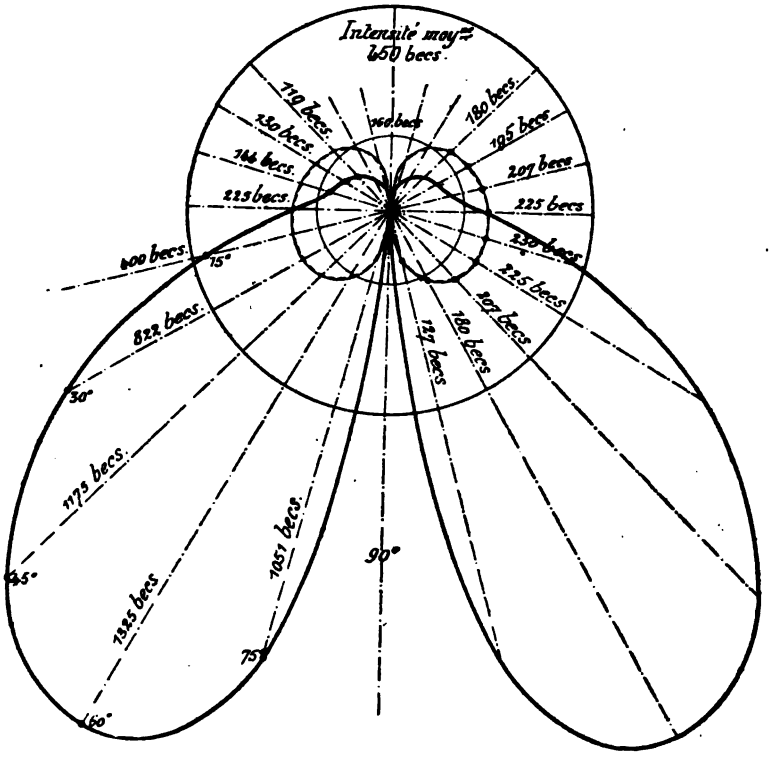


Fig. 292. — Répartition de la lumière de l'arc.
Expériences de l'Auteur.

Des expériences du même genre ont été entreprises par MM. Sautter et Lemonnier à Paris, MM. Siemens et Halske à Berlin et par diverses Commissions à la suite des Expositions de Paris, de Munich, de Vienne, de Philadelphie et d'Anvers. Celles de Philadelphie sont notamment très intéressantes à cause de la variété des systèmes soumis à l'examen et à l'étude des variations d'intensité des foyers pendant les essais. Le diagramme (Fig. 293)

et le tableau page 493 contiennent quelques-uns des résultats qu'elles ont permis de constater.

Rendement lumineux de l'arc voltaïque. — Le rendement lumineux des foyers à arc dépend de la qualité et du diamètre des

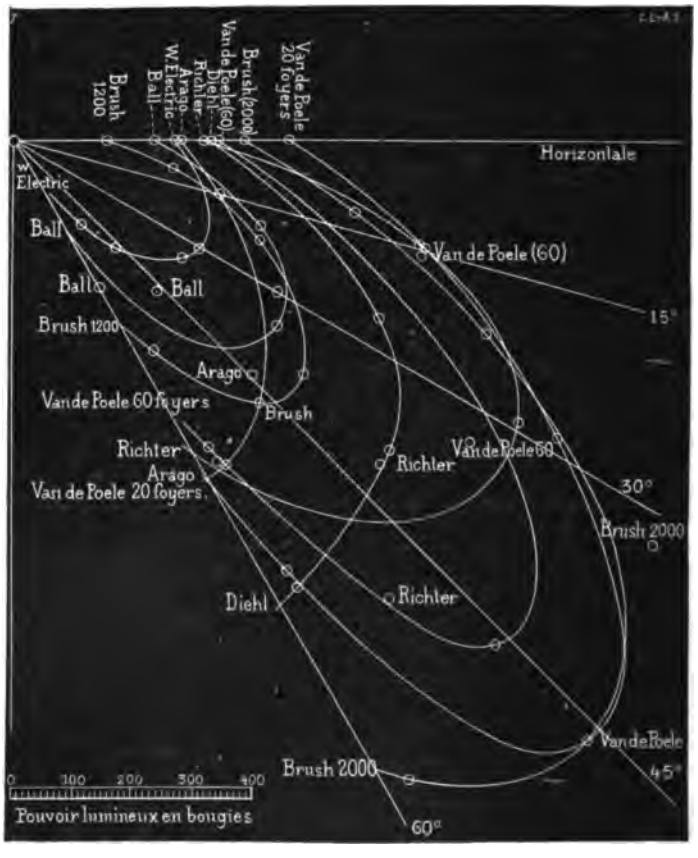


Fig. 293. — Répartition de la lumière de l'arc. Expériences de Philadelphie.

crayons, de l'intensité et de la nature des courants et des appareils qui maintiennent et rapprochent les crayons, du mode de groupement des foyers, etc., etc. Dans les conditions où se trouvent généralement placés les régulateurs, on peut admettre comme suffisamment exacts les chiffres, page 494, déduits des essais de diverses Commissions et de nos expériences personnelles.

EXPÉRIENCES DE PHILADELPHIE SUR LES LAMPES A ARC.

SYSTÈMES.	INCLINAISON sur l'horizontale.	INTENSITÉ en bougies.	AMPÈRES.	VOLTS.	PUISSANCE dans chaque lampe. Watts.	Chevaux	OBSERVATIONS.
Arago.....	0° »	273	15,44	39,87	614,4	0,824	15 lampes en circuit.
	15,30	356	—	—	—	—	
	30,15	505	—	—	—	—	
	44,30	557	—	—	—	—	
	56,40	644	—	—	—	—	
Ball.....	0° »	233	6,60	48,83	322,3	0,432	17 lampes en circuit.
	10,10	431	—	—	—	—	
	35,05	534	—	—	—	—	
	46,25	346	—	—	—	—	
	60,00	284	—	—	—	—	
Brush (1 200)...	0° »	180	6,62	52,50	347,5	0,466	Une seule lampe dans un circuit de résistance inerte. Lumière très fixe.
	0 »	118	—	—	—	—	
	10,26	266	—	—	—	—	
	22,11	439	—	—	—	—	
	37,30	617	—	—	—	—	
	47,00	597	—	—	—	—	
	56,35	422	—	—	—	—	
Brush (2 000)...	0° »	389	10,32	56,73	585,5	0,785	Une seule lampe dans un circuit de résistance inerte.
	12,16	575	—	—	—	—	
	22,11	842	—	—	—	—	
	32,00	1 253	—	—	—	—	
	58,40	1 246	—	—	—	—	
Diehl.....	0° »	323	17,67	31,84	562,6	0,754	4 lampes en circuit.
	26,10	673	—	—	—	—	
	38,30	809	—	—	—	—	
	56,40	881	—	—	—	—	
Richter.....	0° »	313	20,19	30,00	605,7	0,812	6 lampes en circuit. Lumière très irrégulière.
	14,30	691	—	—	—	—	
	29,15	956	—	—	—	—	
	44,25	813	—	—	—	—	
	50,30	986	—	—	—	—	
	57,24	633	—	—	—	—	
Van de Poele.. (machine de 20 foyers).	0° »	451	16,91	37,88	640,5	0,858	Une lampe dans un circuit de résistance inerte.
	15,00	701	—	—	—	—	
	28,40	1 020	—	—	—	—	
	46,25	1 377	—	—	—	—	
	56,24	848	—	—	—	—	
Van de Poele.. (machine de 60 foyers).	0° »	333	13,31	45,77	609,2	0,817	Une lampe dans un circuit de résistance inerte.
	16,00	700	—	—	—	—	
	34,00	890	—	—	—	—	
	46,25	1 156	—	—	—	—	
	57,24	606	—	—	—	—	
Western Electric.....	0° »	263	17,89	25,74	460,5	0,617	22 lampes en circuit.
	30,30	355	—	—	—	—	
	35,15	340	—	—	—	—	
	46,30	247	—	—	—	—	
	52,00	183	—	—	—	—	

§ 1er. *Régulateurs à courant continu.*

INTENSITÉ du COURANT en AMPÈRES.	INTENSITÉ LUMINEUSE MOYENNE		RENDEMENT.		OBSERVATIONS.
	En becs carcels.	En bougies.	Becs carcels par cheval.	Watts par bougie.	
50	600	4 980	150	0,60	Au-dessus de 50 ampères les crayons se désagrègent rapidement et la lumière manque de stabilité.
30	425	3 500	125	0,72	
20	240	1 990	120	0,75	
14	175	1 450	115	0,78	
10	100	830	110	0,82	
8	75	620	100	0,90	
6	50	410	90	1,00	
4	26	210	80	1,13	

§ 2e. *Régulateurs à courants alternatifs.*

INTENSITÉ du COURANT en AMPÈRES.	INTENSITÉ LUMINEUSE MOYENNE		RENDEMENT.		OBSERVATIONS.
	En becs carcels.	En bougies.	Becs carcels par cheval.	Watts par bougie.	
35	175	1 450	80	1,13	Watts calculés d'après la chute de potentiel prise aux bornes de la dynamo.
20	110	910	66	1,35	
12	46	380	50	1,80	

§ 3e. *Bougies électriques.*

INTENSITÉ du COURANT en AMPÈRES.	INTENSITÉ LUMINEUSE MOYENNE		RENDEMENT.		OBSERVATIONS.
	En becs carcels.	En bougies.	Becs carcels par cheval.	Watts par bougie.	
10	62	510	48	1,81	La puissance motrice comprend naturellement celle de la dynamo et celle de l'excitatrice.
8	45	370	40	2,20	
6	32	260	37	2,44	
5	24	200	32	2,8	
3	10	83	25	3,60	

Les chiffres qui précèdent n'ont rien d'absolu ; ils résultent, il est vrai, d'expériences photométriques soigneusement exécutées avec des crayons et des appareils d'un usage courant; mais comme il s'est rencontré, dans les mêmes essais, des différences extrêmement grandes dont nous n'avons pas pu déterminer les causes, nous ne les publions qu'à titre de renseignements généraux pouvant seulement servir de base à l'établissement d'un devis ou d'un projet d'installation.

Répartition de la lumière produite par des lampes à incandes-

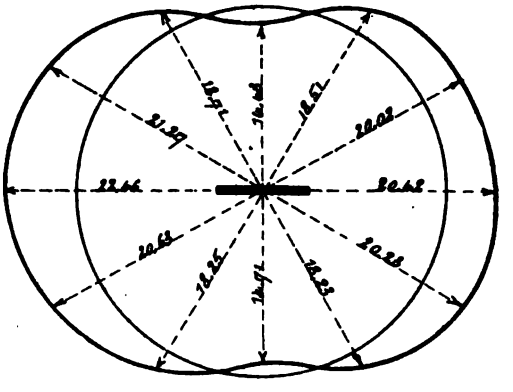


Fig. 294. — Répartition de la lumière à incandescence (plan horizontal).

cence. — La lumière ne se répartit pas plus d'une manière uniforme lorsqu'on emploie des lampes à incandescence que lorsqu'on emploie des régulateurs à arc; seulement, dans le premier cas, les variations d'intensité sont beaucoup moins importantes que dans le second.

Pour faire ressortir ces variations d'intensité, nous prendrons comme exemple une lampe Edison de 16 bougies. Le diagramme (Fig. 294) indique la courbe d'éclairage dans le plan horizontal et le diagramme (Fig. 295) la courbe d'éclairage dans le plan vertical passant par le centre de la lampe.

Horizontalement, les intensités varient entre 14 et 22 bougies; verticalement, un peu plus faibles, vu la forme du filament,

elles varient entre 6 et 15. L'intensité sphérique moyenne de la lampe considérée est de 15,9 bougies.

Avec les lampes d'autres systèmes, les courbes horizontales se rapprochent plus ou moins d'une circonférence, suivant que le filament présente une surface incandescente plus ou moins identique dans chaque direction ; les courbes verticales ont des allures de moins en moins allongées suivant que le filament a subi une

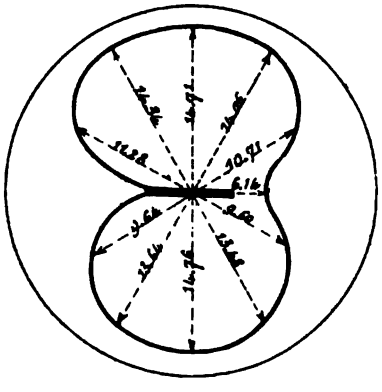


Fig. 295. — Répartition de la lumière à incandescence (plan vertical).

torsion plus ou moins grande et que l'écartement des deux fils est moins considérable.

Rendement lumineux des lampes à incandescence. — Les lampes à incandescence, comme les régulateurs à arc, ont été expérimentées dans plusieurs Expositions, et les résultats obtenus en 1881 au point de vue du rendement diffèrent peu de ceux obtenus en 1886, ce qui ne veut pas dire qu'aucun progrès n'ait été réalisé dans leur fabrication pendant ce laps de temps. On a d'abord cherché à leur assurer une longue durée et on cherche maintenant à augmenter leur rendement.

Voici quelques-uns des résultats enregistrés par la Commission de l'Exposition de Paris, par M. Jamieson et par le Comité de l'Exposition de Munich.

EXPÉRIMENTATEURS.	SYSTÈMES DE LAMPES.	INTENSITÉ MOYENNE en bougies.	AMPÈRES.	VOLTS.	WATTS.	RENDEMENTS		
						WATTS par bougie.	BOUGIES par cheval.	LAMPES par cheval.
Commission de l'Exposition de 1881.	Edison A, 16 bougies.	15,38	0,651	89,11	59,11	3,7	196	12,7
	— A, 32 —	31,11	0,7585	98,39	76,04	2,4	307	9,9
	Swan A.....	16,61	1,471	47,30	79,59	4,15	178	10,7
	— B.....	33,21	1,758	54,21	96,70	2,86	262	8,0
	Lane-Fox A.....	16,36	1,593	43,63	70,89	3,64	173	10,6
	— B.....	32,71	1,815	48,22	89,36	2,76	276	8,5
	Maxim A.....	15,96	1,380	56,49	79,39	4,09	151	9,5
	— B.....	31,93	1,578	62,27	10,03	3,07	239	7,5
Jamieson.	Edison 7 B.....	21,3	0,948	56,2	54,4	2,5	295	13,7
	— B. B. L.....	20,3	0,87	63,6	56,4	2,7	272	13,5
	Lane-Fox.....	30	0,838	80	68,2	2,23	330	11
	Maxim.....	24,3	1,38	52,7	74,0	3	245	10,1
	Swan, n° 1.....	23,7	1,47	46,9	70,6	2,92	252	10,7
	— n° 6, verre dépoli	20	1,50	52,1	79,7	3,90	188	9,4
Comité de l'Exposition de Munich.	Edison A, n° 1.....	18,473	0,678	107,6	74,4	4,0	184	10,0
	— A, n° 2.....	21,159	0,809	110,1	90,6	4,2	175	8,2
	B, n° 1.....	15,576	0,896	59,22	54,1	3,4	216	14,0
	Maxim L, n° 1.....	17,975	1,344	65,14	89,3	4,86	151	8,4
	— L, n° 2.....	21,571	1,353	63,05	86,7	3,9	188	8,6
	Petite Swan L, n° 1..	14,909	1,318	39,46	53,0	3,46	212	15,0
	Grosse Swan L, n° 5..	18,334	1,161	97,65	114,9	6,15	120	6,5
	Siemens, n° 1.....	17,157	0,946	95,60	92,3	5,2	141	8,1
	— n° 2.....	17,170	0,956	100,10	97,6	6,15	120	7,6
	— n° 3.....	17,742	0,906	96,99	89,6	5,0	147	8,3
	Petite Muller, n° 5...	17,661	1,189	70,95	86,0	4,77	154	8,7
	— n° 6...	22,385	1,305	75,29	99,3	4,38	168	7,5
	Muller moyenne, n° 1.	21,338	1,573	89,16	143,1	6,5	113	5,2
	— n° 2.	24,529	1,423	97,75	141,9	5,67	130	5,3
	Grosse Muller, n° 1...	23,643	1,710	121,20	211,1	8,7	85	3,5
	Cruto.....	19,687	3,257	26,62	88,4	4,45	165	8,9

Dans le chapitre XIII consacré aux lampes à incandescence, nous avons relaté une série d'expériences faites sur les meilleurs systèmes et que vient suffisamment compléter le tableau précédent. Il est donc inutile de multiplier les exemples. On fait aujourd'hui des lampes ne dépensant que 2 watts par bougie ; mais

leur longue durée n'est pas encore suffisamment assurée pour qu'elles puissent être recommandées aux industriels. Lorsqu'on cherche des durées de 1 000 heures, il faut se contenter de lampes consommant 4 watts environ par bougie. Tous les fabricants étudient en ce moment la question des longues durées et des grands rendements; nous ne serions pas étonnés de voir fonctionner à l'Exposition de 1889 des lampes réunissant ces deux précieux avantages à un degré inconnu jusqu'à ce jour.

Rendement des brûleurs. — Résumé. — Les régulateurs à courant continu produisent en moyenne 100 becs carcels, et les régulateurs à courants alternatifs, 50 becs carcels par cheval électrique. Les lampes à incandescence absorbent en moyenne 4, 8 watts par bougie, ce qui correspond à une intensité de 20 becs carcels par cheval.

Effet utile de la houille convertie en lumière électrique. — Pour calculer l'effet utile de la houille servant à produire de l'éclairage électrique, il suffit de multiplier l'un par l'autre: 1° le rendement de la machine à vapeur; 2° le rendement de la dynamo; 3° le rendement de la ligne; et 4° le rendement optique des brûleurs.

Le rendement de la machine à vapeur varie entre 0,05 et 0,1.

Le rendement de la dynamo varie entre 0,70 et 0,95.

Le rendement de la ligne varie entre 0,90 et 0,95.

Le rendement optique de l'arc voltaïque varie entre 0,08 et 0,12.

Le rendement optique de l'incandescence varie entre 0,04 et 0,06.

En effectuant les calculs, on arrive à un rendement final compris entre 0,0034 et 0,0080 pour les lampes à incandescence et entre 0,0068 et 0,0160 pour l'arc voltaïque.

L'emploi d'accumulateurs réduit encore ce rendement final de 20, 30 et souvent même de 50 pour 100.

Ainsi, dans l'état actuel de la science, on ne peut utiliser en radiations lumineuses que 16 pour 1 000 au maximum de l'énergie

contenue dans la houille, et, le plus souvent, on n'utilise guère que 4 à 5 pour 1 000 de cette énergie. C'est peu, très peu ; mais il est juste d'observer que, de toutes les lumières artificielles connues, c'est encore la lumière électrique qui possède le plus grand rendement optique et, presque toujours, le plus grand rendement final, par suite de la haute température à laquelle elle se produit. Ce que nous venons de signaler relativement à l'énergie dépensée en pure perte ne saurait servir d'argument aux partisans de l'éclairage au gaz, car il est aujourd'hui démontré que, si, au lieu d'employer le gaz directement à l'éclairage, on s'en sert pour alimenter un moteur à gaz actionnant une dynamo, la lumière des brûleurs électriques est plus intense que celle qu'on eût obtenue dans les brûleurs à gaz avec la même dépense.

Il n'est d'ailleurs pas toujours nécessaire d'employer du combustible pour créer des courants électriques, les chutes d'eau conviennent tout particulièrement pour cet usage et les récepteurs hydrauliques ont un rendement très élevé. C'est même là en faveur de l'éclairage électrique un avantage de premier ordre, qu'aucun autre système ne peut lui disputer : produire de la lumière avec de l'eau en mouvement est un moyen merveilleux qui frappe au plus haut degré l'imagination et qui sera peut-être, dans quelques siècles, le seul mode pratique d'en obtenir.

CHAPITRE XVII

DÉPENSES D'INSTALLATION

Nature des frais de premier établissement. — Les dépenses d'installation concernant l'éclairage électrique se composent : 1° de celles occasionnées par le moteur, les transmissions, et en général par tout ce qui constitue la partie mécanique ; 2° de celles occasionnées par les dynamos, les câbles, les brûleurs et les appareils électriques accessoires. Dans les ateliers de construction, les usines et les manufactures où des moteurs sont déjà installés et non complètement utilisés, les dépenses, limitées au matériel électrique, sont relativement très faibles, tandis que, dans les magasins, les théâtres, les maisons d'habitation, etc., ces dépenses sont d'autant plus considérables que les règlements de police n'autorisent l'établissement des moteurs qu'avec des sujétions dont l'observation est souvent très onéreuse. La distance plus ou moins grande du moteur aux foyers lumineux et l'espacement plus ou moins considérable de ces derniers entre eux influent également sur la dépense de premier établissement.

Il est donc difficile, sinon impossible, d'énumérer exactement les frais nécessités par une installation d'éclairage électrique sans connaître la disposition des locaux, leur usage, leurs dimensions, l'emplacement du moteur et des dynamos, etc., etc. Tout ce que nous pouvons faire, pour faciliter la préparation d'un devis, c'est d'examiner successivement quelle est la valeur marchande des dynamos, des régulateurs, des câbles et de l'appareillage électrique d'un emploi courant.

Quant aux renseignements sur les prix des divers moteurs employés pour actionner des dynamos, on les trouvera facilement

ailleurs. Nous n'en parlerons qu'incidemment lorsqu'il s'agira de mentionner la dépense complète d'une installation, sans nous arrêter sur la valeur des systèmes et sans même discuter les évaluations des auteurs auxquels nous emprunterons les exemples que nous exposerons.

Prix des dynamos. — Depuis vingt ans, le prix des dynamos a subi des réductions considérables : une machine de l'Alliance, capable de produire une puissance maxima de 2 500 watts, se vendait vers 1868 10 000 francs, ce qui correspond à 4 francs par watt; une machine Gramme de même puissance se vend en 1888 700 francs, c'est-à-dire 0 fr. 28 par watt. Le rapprochement de ces chiffres suffit pour faire comprendre la grande valeur marchande de la machine Gramme et le développement rapide de ses applications.

En 1881, le prix des dynamos à courant continu variait de 0 fr. 50 à 2 francs le watt, suivant le système, la puissance et le pays de production. Aujourd'hui, dans chaque contrée, presque tous les fabricants ont perfectionné leurs modèles au point de vue économique, afin de pouvoir soutenir la concurrence avec les maisons qui avaient, en quelque sorte, monopolisé la construction du matériel électrique. Les prix de vente se sont alors rapidement abaissés et successivement nivelés, non seulement dans les pays d'origine, mais même dans presque toute l'Europe. L'Amérique seule a, jusqu'à ce jour, conservé des cours un peu plus élevés.

Cette exception s'explique par le mode d'exploitation qui a prévalu de l'autre côté de l'Atlantique. Tandis que, dans nos contrées, on cherche surtout à vendre du matériel électrique, en Amérique, on s'occupe principalement d'installer des stations centrales et de vendre de la lumière. Les dynamos font alors partie d'un ensemble, et leur commerce de détail devient sans importance. Leur prix diminuera sensiblement dès que cet état se sera modifié.

Voici quels sont actuellement les prix de base des dynamos sur le marché français :

PUISSANCE		PRIX MOYEN EN FRANCS		
EN WATTS.	EN CHEVAUX.	TOTAL.	PAR WATTS.	PAR CHEVAL.
75 000	100	10 000	0,13	100
37 500	50	5 500	0,14	110
26 250	35	4 000	0,15	114
18 750	25	3 000	0,16	120
15 000	20	2 500	0,17	125
11 250	15	2 000	0,18	133
7 500	10	1 500	0,20	150
3 750	5	850	0,23	170
1 500	2	600	0,40	200

Pour les types très usités de 20 à 50 chevaux, le prix oscille entre 0 fr. 14 et 0 fr. 17 le watt. Ce prix pourra encore baisser par suite des efforts constants que la concurrence maintient chez les fabricants; mais, comme il correspond à 2 francs par kilogramme et que dans chaque dynamo il entre une assez grande proportion de cuivre, cette baisse, si elle s'effectue, sera en réalité de faible importance.

Les variations de tarifs suivront bientôt presque exclusivement le cours des métaux, ainsi que cela a lieu pour la construction métallique et les appareils de mécanique générale.

Il est certain, d'autre part, que les dynamos soignées portant les marques de fabrique des maisons Gramme, Edison, Siemens, Sautter et Lemonnier, etc., auront toujours une valeur un peu supérieure à celles portant des marques plus récentes et moins appréciées. Le cours des machines à courants alternatifs est resté un peu plus élevé, notamment pour celles qui sont constituées au moyen d'aimants permanents; mais l'usage de ces dernières est si restreint que le maintien de leur prix élevé est sans aucune importance commerciale. Les dynamos servant à alimenter les bougies Jablochkoff coûtent aujourd'hui environ 200 francs par cheval électrique, ou, ce qui revient au même, 0 fr. 40 par watt.

Prix des régulateurs à arc. — Le prix des régulateurs, au moment où la machine Gramme a fait son apparition, était d'envi-

ron 500 francs, et il n'avait aucune tendance à fléchir, étant donnée l'absence presque absolue d'applications industrielles. Ce prix varie aujourd'hui entre 100 et 400 francs suivant le système du mécanisme, la puissance du foyer et la durée des crayons.

Contrairement à ce qui s'est passé pour les dynamos, les constructeurs n'ont pas beaucoup cherché à uniformiser leurs prix de vente, et il existe pour les régulateurs autant de tarifs spéciaux qu'il y a de systèmes différents.

Il ne nous est pas possible d'énumérer tous les systèmes et encore moins d'en fixer la valeur actuelle; mais nous pouvons donner les prix de vente de la plupart de ceux que l'usage a définitivement consacrés.

PRIX DE VENTE DES RÉGULATEURS A ARC (1887).

Systèmes.	Modèles.	Prix.
Gramme	n° 1, forte lumière	225 fr.
—	n° 2, moyenne lumière	175
—	n° 3, petite lumière	125
Cance		300
Breguet		225
Serrin (fabrication Breguet)		350
Jaspar		250
De Puydt		250
A. Gérard		150
Crompton	n° 1, double	280
—	n° 2, simple	250
Thomson-Houston		250
Thomson-Rice		250
Brush		200
Siemens		225
Piette et Krizick (système Pilsen)		225
Gülcher	n° 1, forte lumière	300
—	n° 2, faible lumière	200
Pieper, ancien modèle		125
—	nouveau modèle	150
Mondos		150
Weston, nouveau modèle		260
Bürgin		150
Poëge		125
Zipernowsky		200

Prix des lampes à incandescence. — Les lampes à incandescence Edison et similaires se sont vendues primitivement de 15

à 20 francs la pièce ; mais, en très peu de temps, elles ont été livrées à 10 francs, 7 fr. 50, puis à 6 francs, et enfin à 5 francs, prix commercial actuel.

Il est incontestable que les cours continueront à baisser au fur et à mesure que la consommation augmentera ; cependant, pour avoir de bonnes lampes, bien étalonnées et fournissant une carrière d'au moins 1 000 heures, il ne faut pas compter, de longtemps, sur un prix inférieur à 4 francs, et encore devra-t-on, pour obtenir cette réduction, commander un grand nombre de lampes à la fois.

Le prix actuel de 5 francs ne se rapporte qu'aux lampes ordinaires de 5, 8, 12, 16 et 20 bougies. Au-dessus de 20 bougies, les prix varient avec chaque système et avec chaque intensité lumineuse.

La Société Edison vend ses lampes de 100 bougies 15 francs, et celles de 32 bougies 7 fr. 50. MM. Clarke, Chapman et Parsons livrent exclusivement des lampes de grande intensité. Voici quel était leur tarif en France au 1er janvier 1888 :

Lampes de	200	bougies.....	27	fr.	50
—	300	—	30		75
—	400	—	33		75
—	500	—	37		75
—	600	—	40		90
—	800	—	44		50
—	1 000	—	48		50

L'élévation de ce tarif s'explique par la faible production actuelle de la fabrique ; mais il est bien certain qu'avant un an les prix seront très sensiblement réduits.

Prix des conducteurs. — Le prix des conducteurs dépend du cours du cuivre et de la qualité de son enveloppe isolante. Chaque constructeur possède un certain nombre de types de câbles dont il a éprouvé la conductibilité et le degré d'isolation, et il les emploie les uns ou les autres suivant les applications.

Voici, à titre d'exemple, le tarif des câbles adoptés par M. Gramme :

SECTIONS en MILLIMÈTRES carrés.	ISOLEMENT LÉGER.	ISOLEMENT MOYEN.	ISOLEMENT FORT.	ISOLEMENT SOUS PLOMB.
	le mètre. fr. c.	le mètre. fr. c.	le mètre. fr. c.	le mètre. fr. c.
1	0,17	0,26	0,37	0,72
2	0,23	0,29	0,42	0,92
5	0,38	0,50	0,68	1,43
10	0,60	0,81	1,07	1,98
20	1,10	1,43	1,82	3,13
30	1,61	2,08	2,60	3,92
40	2,13	2,73	3,38	4,55
50	2,60	3,38	4,17	5,22
100	5,20	6,63	8,06	8,45
150	7,47	9,49	11,05	11,32
200	9,75	12,35	13,65	14,30
250	12,02	14,69	15,60	16,90
300	14,30	16,90	17,87	19,50

Les câbles souples à deux conducteurs pour lampes portatives ont généralement un millimètre carré de section dans chaque conducteur ; ils coûtent de 0 fr. 50 à 1 fr. 50 le mètre, suivant la nature de l'enveloppe isolante.

Les fils nus en cuivre rosette de haute conductibilité coûtent actuellement 2 fr. 50 le kilogramme, en moyenne. Parmi les plus estimés nous citerons ceux traités électrolytiquement par le docteur Wolhill et tréfilés par la maison Mouchel, ceux de M. Lazare Weiller et ceux de la Société *India Rubber*.

Prix de l'appareillage. — L'appareillage pour les installations de régulateurs à arc comprend principalement des commutateurs, des globes, des lanternes et des abat-jour dont il est bien difficile de donner le prix de vente, même approximatif, à cause de l'extrême variété des modèles existants. L'appareillage pour lampes à incandescence est également très variable en ce qui concerne les lustres, supports, suspensions et appliques, qui dépendent beaucoup de la disposition des locaux et de la décoration

architecturale ; mais il est à peu près uniforme chez tous les fabricants pour les coupe-circuits, les douilles, les commutateurs, les abat-jour d'usine et les isolateurs. Comme nous l'avons fait pour les dynamos, les brûleurs et les conducteurs, nous citerons quelques prix, tout en engageant les personnes que la question intéresse directement à consulter les tarifs spéciaux des principaux constructeurs. Non seulement les prix changent souvent ; mais le nombre des modèles de chaque espèce d'appareil s'accroît chaque année notablement.

PRIX DES COUPE-CIRCUITS.

Pour circuit de	300 à 600	lampes de 16 bougies .	45 fr.	»
—	100 à 300	—	35	»
—	30 à 100	—	7	»
—	10 à 30	—	3	»
—	1 à 10	—	1	75

PRIX DES DOUILLES DE LAMPES.

Douille à clef, contact à vis	6 fr.	»
— sans clef, ronde	3	»
— sans clef, plate	1	75
— à clef, monture à baïonnette	4	50
— sans clef, —	2	75

PRIX DES ABAT-JOUR MÉTALLIQUES POUR USINES.

Abat-jour de 0,30^{m} de diamètre	2 fr.	»
— 0,40^{m} —	2	25
— 0,40^{m} — émaillé	5	»
Griffe pour abat-jour	1	»

PRIX DES COMMUTATEURS.

Commutateur grand modèle, 300 lampes	40 fr.	»
— moyen, 100 lampes	16	»
— petit, 30 lampes	8	»
— ébonite, modèle d'appartement, de 1 à 3 lampes	2	50
— à 7 touches	28	»
— pour mise hors circuit des lampes à arc	25	»

PRIX DES ISOLATEURS.

Ruban chattertonné, la pièce de 10 mètres.....	0 fr.	50
Isolateurs en bois, l'un.....	0	10
Bois rainé avec couvercle, pour câble de dérivation, le mètre.....	2	60
Bois rainé pour câbles principaux, le mètre.....	1	50
— intermédiaires, le mètre..	1	»
Crochets émaillés, le cent.....	2	»
Cloche porcelaine double.....	2	25
— simple.....	1	80
Poulies avec tire-fonds, grand modèle, l'une....	1	25
— moyen —	0	85
— petit —	0	60

PRIX DES INSTRUMENTS DIVERS.

Ampèremètre mesurant jusqu'à 50 ampères	50 fr.	»
— avec réducteur 100 —	70	»
— — 300 —	150	»
Voltmètre mesurant jusqu'à 120 volts.....	50	»
— avec réducteur 200 —	80	»
Compteur de tours.....	25	»
Compte-secondes.....	80	»
Compteur de tours et compte-secondes accouplés.	220	»
Tachymètre.....	370	»
Indicateur de marche..... ...	9	»
Sonnerie et sa pile pour indicateur.....	18	»
Lunettes noires avec étui.....	3	»
Bouton de contact pour voltmètre.....	1	»

Nous ne pousserons pas plus loin cette nomenclature déjà longue et forcément très incomplète ; notre but, en publiant ces divers prix, étant uniquement de donner une idée générale sur la variété des organes entrant dans une installation d'éclairage électrique et de montrer que la plupart d'entre eux peuvent s'acquérir à très bon compte.

Il nous paraît plus utile de donner, pour un certain nombre d'établissements, les dépenses totales effectuées soit pour le matériel électrique considéré isolément, soit pour l'ensemble des installations, partie mécanique et partie électrique réunies.

Nous choisirons ces exemples dans des applications différentes et nous publierons, autant que possible, les chiffres

émanant des personnes pour lesquelles les installations ont été faites.

Éclairage au moyen de régulateurs.—*Fonderie Ducommun, 1875.* — La fonderie des établissements Ducommun, à Mulhouse, a été éclairée électriquement dès 1875 au moyen de 4 dynamos Gramme et de 4 régulateurs Serrin. La surface totale de cette fonderie est de 1 568 mètres carrés; l'intensité lumineuse totale des 4 régulateurs, prise horizontalement, est de 440 becs carcels, ce qui correspond à un bec pour 3,5 mètres carrés.

L'installation a coûté :

1° Pour les machines Gramme, les régulateurs et les fils....	9 000 fr.
2° Pour la partie mécanique.....	8 000
Total.....	17 000 fr.

Soit, par bec carcel, 20 francs environ pour la partie électrique et 18 francs pour la partie mécanique; et, par régulateur à arc de 110 becs, 2 250 francs pour la partie électrique et 2 000 francs pour la partie mécanique.

Tissage de M. Manchon, à Rouen, 1878. — Ce tissage, d'une surface d'environ 1 000 mètres carrés, est éclairé par six machines Gramme type normal et par six régulateurs Serrin projetant leur lumière sur le plafond. La lumière totale a une intensité d'environ 1 500 becs carcels; l'installation a coûté, tout compris, 22 810 fr. 80, ainsi répartis :

Plafond, menuiserie.....	3 913 fr.	»
— peinture.....	1 249	»
— main-d'œuvre d'installation.....	125	»
— (fourniture de bois).....	57	50
Stores en toile.....	175	»
Armoire pour mettre les appareils nécessaires.	211	90
Coffres pour machines, avec garniture en zinc.	15	75
Dynamos, régulateurs et conducteurs.....	14 700	»
Transmission.....	1 446	25
Courroies.....	737	20
Charpente pour la transmission.....	80	20
Transport et frais divers.....	100	»
Total des dépenses.....	22 810 fr.	80

Cette dépense paraît à première vue considérable ; mais, en se reportant à la date de l'installation et en considérant les services que celle-ci a rendus, on ne saurait la taxer d'exagérée[1].

Les installations par réflexion du plafond ne se sont pas multipliées à cause des frais accessoires qu'elles nécessitent; elles sont cependant extrêmement commodes, ne fatiguent jamais les yeux, donnent un éclairage très uniforme et très régulier et permettent d'employer l'arc voltaïque dans des locaux relativement exigus. La lumière réfléchie dans le tissage de M. Manchon, en admettant une absorption de 30 pour 100 de la lumière produite, correspond à un bec carcel par mètre carré.

La dépense concernant la partie électrique ressort à environ 10 francs par bec carcel et à 2 450 francs par régulateur de 250 becs.

Tréfilerie de cuivre L. Weiller, à Angoulême, 1884.— L'installation se compose de deux dynamos Gramme, de 15 lampes à incandescence Swan et de 5 régulateurs Gramme ; l'intensité totale répartie sur une surface de 1 500 mètres carrés, est d'environ 500 carcels.

1. Voici en effet ce qu'écrivait M. Manchon à MM. Sautter et Lemonnier, le 28 juin 1878, au sujet de son installation :

« Messieurs,

« Je trouve en rentrant de Paris, où j'ai passé quelques jours, votre estimée du 25 courant et m'empresse d'y répondre et de vous envoyer, suivant votre désir, mon appréciation sur l'installation d'éclairage électrique que vous avez faite dans mes ateliers.

« Cette installation me donne très grande satisfaction, aux divers points de vue suivants :

« 1° Éclairage incomparablement plus puissant et meilleur que celui que me donnait le gaz, bien que ce dernier fût monté chez moi dans des conditions un peu exceptionnelles comme grand nombre et puissance des becs;

« 2° Lumière extrêmement agréable, ne fatiguant nullement la vue des ouvriers et ne produisant aucune ombre, par suite de la disposition employée qui consiste à cacher les foyers lumineux aux yeux des ouvriers et à diriger la lumière vers le plafond;

« 3° Absence complète d'émanations désagréables ou malsaines, comme en produit inévitablement le gaz;

« 4° Maintien dans les salles d'une température uniforme; l'atmosphère des ateliers ne s'échauffe plus comme cela a lieu avec l'éclairage au gaz, et c'est là, à mon sens, un avantage considérable : l'éclairage au gaz, pendant les longues veillées d'hiver, rendait à nos ouvrières le séjour des ateliers extrêmement pénible, et je puis même dire dangereux, à cause de la transition qu'elles avaient à subir au moment de leur sortie à l'air extérieur ;

« 5° Facilité complète de distinguer les nuances comme à la lumière du jour;

« 6° Bonne marche et bon fonctionnement des divers appareils que vous m'avez fournis ;

« 7° Enfin, économie d'environ 25 pour 100 réalisée sur la dépense qu'entraînait pour moi l'éclairage par le gaz. »

Le matériel électrique a coûté :

1° Pour les régulateurs :		
Dynamo Gramme.....	2 200 fr.	
Régulateurs Gramme.....	1 500	
Suspensions, abat-jour, etc.....	150	
Interrupteur.....	250	
Câble, 90 mètres à 2 fr.....	180	
Accessoires divers.....	385	4 665 fr.
2° Pour les lampes à incandescence :		
Dynamo Gramme.....	500	
Lampes Swan avec supports et abat-jour.....	570	
Câble, 600 mètres à 0 fr. 80.....	480	1 550
Les transmissions et les courroies ont coûté à forfait.....		1 000
Total de la dépense.....		7 215 fr.

L'installation de l'éclairage par arc a ainsi coûté environ 1 000 francs le régulateur, et celui par incandescence 120 francs la lampe de 16 bougies.

Installations actuelles au moyen de régulateurs à arc. — Dans les deux premiers exemples que nous venons de citer, chaque régulateur est alimenté par une dynamo spéciale, ce qui conduit à un prix élevé par foyer ; dans le troisième, la même dynamo alimente 5 régulateurs et le prix, par foyer, est déjà beaucoup moins élevé ; mais il est encore loin d'atteindre la limite à laquelle on est parvenu depuis deux ans avec des dynamos pouvant desservir jusqu'à 100 et même 150 régulateurs.

Le prix est également très réduit dans le cas où il est utile de mettre une dynamo par régulateur.

Pour des foyers de 450, 150 et 50 becs carcels, la dépense de premier établissement se décompose ainsi :

Foyer de 450 becs carcels..	Dynamo.....	600 fr.
	Régulateur.....	225
	Câbles et accessoires, environ...	175
	Total..... ..	1 000 fr.

Foyer de 150 becs carcels..	Dynamo	500 fr.
	Régulateur	175
	Câbles et accessoires, environ	125
	Total	800 fr.
Foyer de 50 becs carcels...	Dynamo	400 fr.
	Régulateur	125
	Câbles et accessoires, environ	75
	Total	600 fr.

En supposant une installation comprenant 30 régulateurs de 150 carcels, alimentés par une seule dynamo, la dépense sera approximativement :

Dynamo	5 000 fr.
Régulateurs 30 × 175	5 250
Câbles et accessoires, environ	2 650
Montage	1 000
Total	14 900 fr.

Ce qui correspond à 500 francs par régulateur et à 3 fr. 33 par bec carcel.

Éclairage au moyen de bougies. — *Magasins du Printemps.* — Ces magasins ne sont pas entièrement éclairés au moyen de bougies ; mais celles-ci dominent tellement les autres brûleurs, et leur installation a été si bien comprise, que nous ne saurions choisir un meilleur exemple pour indiquer les dépenses de premier établissement auxquelles elles entraînent.

On compte au *Printemps* 265 bougies et 255 lampes à incandescence ; mais les devis ont été établis pour 300 bougies et nous pouvons considérer que l'éclairage total est uniquement fourni par 300 bougies Jablochkoff, la puissance absorbée par 255 lampes à incandescence étant sensiblement la même que celle exigée par 35 bougies.

Le projet primitif, auquel nous avons collaboré, rentrait précisément dans ces données. C'est pour comparer les lumières à arc et à incandescence qu'on a introduit dans l'installation un certain nombre de lampes Gérard.

Les dépenses de premier établissement se sont élevées à la somme totale de 684 000 francs, ainsi répartie :

Fondations	100 000 fr.
Moteurs, transmissions et tuyauterie	200 000
Courroies	15 000
Générateurs de vapeur	92 000
Appareillage	95 000
Matériel électrique	182 000
Total	684 000 fr.

Cette dépense qui correspond à 2 280 francs par bougie aurait facilement été réduite de 15 pour 100 si les fondations n'eussent pas été exceptionnellement onéreuses et si l'appareillage eût été un peu moins luxueux.

Le prix du matériel électrique a été d'environ 600 francs par bougie.

Parc Monceau. — La Ville de Paris a fait installer en 1883, au parc Monceau, 12 foyers Jablochkoff, pour en éclairer les avenues principales.

L'installation a coûté :

Hangar et cheminée	2 500 fr.
Locomobile de 12 chevaux	8 500
Transmissions	700
Câbles conducteurs	3 500
Matériel électrique	4 100
Montage	1 150
Total	20 450 fr.

c'est-à-dire 1 704 francs, tout compris, par foyer, et 633 francs également par foyer, mais seulement pour la partie électrique, matériel et câbles.

Magasins du Bon Marché. — Une partie de l'éclairage du *Bon Marché* est fournie par 96 foyers Jablochkoff disposés sous plafond ; les foyers ont été installés au prix, à forfait, de 335 francs l'un. Ce prix comprend les foyers mis en place, avec chandeliers automatiques de six bougies, la canalisation complète sous moulures, les coupe-circuits, commutateurs, prises de courants, un tableau de distribution complet et des tableaux avertisseurs à sonneries ; il ne comprend ni les dynamos, ni les lyres, ni les globes. Les dynamos Gramme n°s 2 à 4 circuits ont été vendues 4 000 francs l'une ; chacune de ces dynamos alimente 16 foyers.

Le prix du matériel électrique par bougie est ainsi de 335 + 250 = 585 francs.

Avec lyre et globe on peut admettre 625 francs pour prix de l'installation électrique complète d'un foyer Jablochkoff, pose comprise. L'installation mécanique varie entre 1 000 et 1 500 francs par foyer. Dans les usines où il existe des appareils à vapeur sur lesquels on peut prendre la puissance motrice, les dépenses pour la partie mécanique se réduisent considérablement. L'installation totale électrique et mécanique atteint rarement 1 000 francs par foyer, lorsqu'on se trouve dans ces conditions.

Éclairage au moyen de lampes à incandescence. — Les installations par incandescence, quoique venues les dernières dans l'ordre chronologique, sont aujourd'hui les plus usitées, aussi bien pour l'éclairage des manufactures que pour celui des habitations particulières. Elles comportent une grande variété d'appareils et coûtent d'autant moins cher, par chaque foyer, qu'elles contiennent davantage de lampes.

Dans les usines, on recherche principalement la commodité et la solidité de toutes les pièces constituant l'installation, tandis que dans les appartements, où la question de goût intervient, les supports de lampes sont généralement plus soignés et plus luxueux que le reste des appareils.

Les deux tableaux pages 514 et 515 résument les derniers devis établis par M. Gramme pour les éclairages à incandescence : l'un est relatif aux installations particulières pour les châteaux, les hôtels, les magasins et les maisons d'habitation ; l'autre s'applique aux installations industrielles pour les usines, les manufactures, les gares de chemins de fer, etc., etc. Ces devis généraux permettent de se faire immédiatement une idée des dépenses exigées par le matériel électrique dans un éclairage ; ainsi, par exemple, s'il s'agit d'une manufacture ayant besoin de 500 lampes, on peut de suite évaluer le coût de l'installation à 500 × 40,41, c'est-à-dire à 20 200 francs.

Quelques exemples choisis parmi les installations récentes compléteront ces données générales.

INCANDESCENCE

Devis généraux pour installations particulières.

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE.	IMPORTANCE DE L'INSTALLATION.								
	Prix de l'unité.	30 LAMPES 16 BOUGIES		60 LAMPES 16 BOUGIES		120 LAMPES 16 BOUGIES		250 LAMPES 16 BOUGIES	
		Nombre.	Prix.	Nombre.	Prix.	Nombre.	Prix.	Nombre.	Prix.
	fr. c.		fr. c		fr. c.		fr. c.		fr. c.
Dynamo	» »	1	600 »		900 »	1	1 700 »	1	3 000 »
Rhéostat régulateur	» »	1	50 »	1	70 »	1	70 »	1	70 »
Douilles à clef	4,50	20	90 »	40	180 »	80	360 »	170	765 »
— sans clef	2,25	10	22,50	20	45 »	40	90 »	80	180 »
Commutateurs de 1 à 3 l.	2,50	4	10 »	8	20 »	16	40 »	34	85 »
— 3 à 30 l.	8 »	»	» »	2	16 »	4	32 »	8	64
— 30 à 100 l.	16 »	»	» »	»	» »	»	» »	3	48 »
— 100 à 500 l.	40 »	»	» »	»	» »	»	» »	1	40 »
Tableaux avec instruments de mesures montés	» »	1	200 »	1	250 »	1	325 »	1	350 »
Coupe-circuits complets. Simples 300 à 600 l.	45 »	»	» »	»	» »	»	» »	»	» »
— 100 à 300 l.	35 »	»	» »	»	» »	1	35 »	1	35 »
Doubles 30 à 10 l.	9 »	1	9 »	1	9 »	3	27 »	5	45 »
— 1 à 30 l.	4 »	3	12 »	6	24 »	12	48 »	25	100 »
Simples 1 à 30 l.	2 »	10	20 »	20	40 »	40	80 »	90	180 »
Moulures par lampe	4 »	»	» »	»	» »	»	» »	»	» »
Fils	12 »	30	360 »	60	720 »	120	1 440 »	250	3 000 »
Ruban isolant	0,05	30	1,50	60	3 »	120	6 »	250	12,50
Isolateurs porcelaine. Cloche double	2,25	»	» »	4	9 »	6	13,50	8	18 »
— simple	1,85	4	7,40	2	3,70	4	7,40	6	11,10
Poulie grand modèle	1,25	»	» »	4	5 »	6	7,50	8	10 »
— moyen modèle	0,85	4	3,40	8	6,80	10	8,50	12	10,20
— petit modèle	0,60	6	3,60	10	6 »	14	8,40	20	12 »
Isolateurs en bois. Petit modèle	0,05	40	2 »	80	4 »	100	5 »	150	7,50
Grand modèle	0,06	80	4,80	150	9 »	200	12 »	300	18 »
Montage par lampe	10 »	30	300 »	60	600 »	120	1 200 »	250	2 500 »
Lampes 16 bougies	5 »	30	150 »	60	300 »	120	600 »	250	1 250 »
Crochets émaillés, clous et vis	» »	»	10 »	»	20 »	»	40 »	»	80 »
TOTAUX	» »		1 856,70		3 240,50		6 155,30		11 891,30
PRIX PAR LAMPE	» »		61,87		54 »		51,29		47,56

INCANDESCENCE

Devis généraux pour installations industrielles.

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE.	IMPORTANCE DE L'INSTALLATION.									
	PRIX DE L'UNITÉ.	60 LAMPES 16 BOUGIES		120 LAMPES 16 BOUGIES		250 LAMPES 16 BOUGIES		500 LAMPES 16 BOUGIES	
		Nombre.	Prix.	Nombre.	Prix.	Nombre.	Prix.	Nombre.	Prix.
	f. c.		f. c.		f. c.		f. c.		f. c.
Dynamo	» »	1	900 »	1	1 700 »	1	3 000 »	1	5 400 »
Rhéostat régulateur	» »	1	70 »	1	70 »	1	70 »	1	70 »
Douilles à clef	4 50	12	54 »	24	108 »	50	225 »	75	337,50
— sans clef	2,25	43	96,75	86	193,50	175	393,75	375	843,75
— en bois	1,50	5	7,50	10	15 »	25	37,50	50	75 »
Commutateurs de 1 à 3 l.	2,50	5	12,50	10	25 »	20	50 »	40	100 »
— 3 à 30 l.	8 »	3	24 »	6	48 »	12	96 »	24	172 »
— 30 à 100 l.	16 »	1	16 »	2	32 »	4	64 »	8	128 »
— 100 à 500 l.	40 »	»	»	»	»	1	40 »	2	80 »
Tableau avec prises de courant et instruments de mesures montés	» »	1	175 »	1	275 »	1	375 »	1	400 »
Coupe-circuits complets — Simples 300 à 600 l.	45 »	»	»	»	»	»	»	1	45 »
— 100 à 300 l.	35 »	»	»	1	35 »	1	35 »	2	70 »
— Doubles 30 à 100 l.	9 »	1	9 »	1	9 »	3	27 »	6	54 »
— 1 à 30 l.	4 »	6	24 »	12	48 »	25	100 »	50	200 »
— Simples 1 à 30 l.	2 »	20	40 »	40	80 »	80	160 »	160	320 »
Isolateurs porcelaine. — Cloches doubles	2,25	4	9 »	6	13,50	8	18 »	12	27 »
— simples	1,85	2	3,70	4	7,40	6	11,10	10	18,50
— Poulies grand modèle.	1,25	4	5 »	6	7,50	8	10 »	10	12,50
— moyen modèle	0,85	8	6,80	10	8,50	12	10,20	16	13,60
— petit modèle	0,60	10	6 »	14	8,40	20	12 »	30	18 »
Moulures par lampe	3 »	»	»	»	»	»	»	»	»
Fil usine par lampe	10 »	60	600 »	120	1 200 »	250	2 500 »	500	5 000 »
Ruban isolant par lampe	0,05	60	3 »	120	6 »	250	12,50	500	25 »
Montage par lampe	6 »	60	360 »	120	720 »	250	1 500 »	500	3 000 »
Abat-jour émaillé avec écrous.	2,50	50	125 »	100	250 »	250	625 »	450	1 125 »
Isolateurs en bois. Petit modèle	0,05	80	4 »	160	8 »	300	15 »	600	30 »
Isolateurs en bois. Grand modèle	0,06	160	9,60	300	18 »	500	30 »	1 000	60 »
Lampes 16 bougies	5 »	60	300 »	120	600 »	250	250 »	500	2 500 »
Crochets émaillés, clous, vis.	» »	»	10 »	»	20 »	»	40 »	»	80 »
TOTAUX			2 870,85		5 505,80		10 707,05		20 204,85
PAR LAMPE			47,84		45,88		42,82		40,41

Bureau de la Compagnie de Fives-Lille. — La Compagnie de Fives-Lille a fait installer rue Caumartin, à Paris, une série d'appareils pour l'éclairage électrique de ses bureaux et pour le tirage des dessins au ferro-prussiate.

Les bureaux, répartis en cinq étages, sont complètement éclairés électriquement le soir. Les parties les plus obscures sont en outre éclairées de la même manière pendant une grande partie de la journée.

Le matériel mécanique et le matériel électrique sont placés au rez-de-chaussée d'un petit bâtiment récemment construit pour servir d'annexe au bâtiment principal.

L'éclairage total comprend 75 lampes dont une trentaine appartient au service du jour.

Les lampes sont presque partout suspendues par un fil souple et munies d'abat-jour ayant une concavité assez grande pour protéger les yeux contre le vif éclat des filaments.

L'installation électrique a coûté 7 073 francs, ainsi répartis :

1 dynamo Gramme n° 4	1 700 fr.
75 lampes avec conducteurs et accessoires.....	4 300

Le prix de premier établissement a donc été de $\frac{6\,000}{75}$ = 80 francs par lampe.

Pour le tirage des dessins, on a placé 2 régulateurs qui ont coûté, tous frais compris, 1 073 francs; c'est-à-dire 536 fr. 50 par régulateur.

Établissement Bessonneau. — Les filatures de M. Bessonneau, à Angers, possèdent actuellement 800 lampes à incandescence; le service complet comprendra environ 1 200 lampes de 16 bougies.

Une grande partie des travaux d'installation a été exécutée par M. Bessonneau à la suite d'une première section confiée à la Société Gramme.

Cette première section comptait 182 lampes.

Elle a coûté en matériel électrique :

1 dynamo Gramme de 150 ampères et 110 volts.....	3 000 fr.
Fourniture de 182 lampes avec douilles, abat-jour, coupe-circuits, commutateurs, câbles, tasseaux, crochets émaillés.....	4 900
Tableau de distribution.....	250
Montage.....	400
Total.....	8 550 fr.

Cette dépense correspond à 47 francs par lampe.

Installations dans l'Est de la France. — M. Bayon, ingénieur à Nancy, a publié, en 1887, dans le Bulletin de la Société Industrielle de l'Est, une note sur le prix de revient de l'éclairage électrique dans diverses usines de sa région. Nous empruntons à cette note les renseignements suivants :

Usine de M. Luc, de Nancy. — L'installation comprend 260 lampes à incandescence et 3 régulateurs à arc voltaïque; elle a coûté 30 000 francs, y compris le moteur.

La dépense peut être répartie ainsi :

260 lampes à incandescence à 95 fr.....	24 700 fr.
3 régulateurs à arc à 1 766 fr.....	5 300

Filature de Blainville. — L'éclairage est assuré par 420 lampes à incandescence; il a coûté, tout compris, la somme de 60 000 francs, c'est-à-dire 143 francs par lampe.

Tissage de M. Hartmann, à Épinal. — L'installation électrique de cet établissement comprend :

146 lampes de 16 bougies ;
57 lampes de 24 bougies ;
34 lampes de 32 bougies ;

en tout 234 lampes diverses équivalant à 294 lampes de 16 bougies. Les frais de premier établissement se sont élevés à 17 000 francs pour le matériel électrique et à 3 000 francs pour la transmission. La dynamo est commandée par la turbine qui fait mouvoir les métiers à tisser. Le prix, par lampe de 16 bougies, est de 70 francs.

Usine des héritiers de Georges Perrin, à Cornimont. — L'installation a coûté 20 000 francs pour le matériel électrique.

Les moteurs existants ont été utilisés pour donner le mouvement aux dynamos. L'éclairage est obtenu par 360 lampes de 16 bougies.

Le prix correspondant à une lampe est de 55 francs.

Filature de M. Germain Willig, à Thaon. — L'installation comprend 110 lampes de 16 bougies ayant coûté 6 500 francs, c'est-à-dire 59 francs par lampe. Les moteurs existants antérieurement actionnent la dynamo. Aucune dépense n'a été faite pour le matériel mécanique.

Filature de MM. Ancel, à Varangeville. — Cette usine possède 110 lampes à incandescence de 16 bougies dont l'installation électrique a coûté 6 000 francs, soit 54 francs par lampe.

La dynamo est actionnée par une turbine spéciale munie d'un régulateur d'un excellent fonctionnement.

Les prix des installations que nous venons d'énumérer se maintiennent entre 50 et 60 francs pour la partie électrique seule et entre 90 et 100 francs pour le matériel complet : mécanique et électrique. Ils diffèrent très peu de ceux des autres parties de la France. L'installation de M. Irénée Brun, à Saint-Chamond, par exemple, qui comprend 600 lampes de 16 bougies, a coûté 32 000 francs pour la partie mécanique et 23 000 francs pour la partie électrique. La dépense totale, 55 000 francs, correspond à 92 francs par lampe.

Installations Edison. — M. Delahaye, au Congrès de l'industrie du gaz en France, tenu à Nancy en 1887, a donné les chiffres suivants, comme représentant les dépenses moyennes d'une installation de 200 lampes de 16 bougies, exécutée par la Société Edison.

Partie mécanique.

Force motrice. Machine et chaudière.....	14 660 fr.
Cheminée, fumisterie et fondations.....	2 390
Courroies.....	300
Divers et imprévu.....	2 550
Total.....	19 900 fr.

Partie électrique.

Dynamo	4 000 fr.
Régulateur de courant	100
Appareillage et conducteurs à 25 fr. la lampe, fourniture et pose à forfait	5 000
Total	9 100 fr.

Le prix par lampe ressort à 45 fr. 50 pour la partie électrique seule, et à 145 francs pour l'ensemble de l'installation.

Prix des accumulateurs. — Nous ne considérons pas les accumulateurs comme des appareils industriels; parce qu'ils se dérangent souvent, nécessitent des soins continuels, et, surtout, parce qu'ils n'ont qu'une durée éphémère. Les meilleurs modèles doivent, en effet, être remplacés au moins en partie au bout de deux ans, et, comme leurs prix sont fort élevés, eu égard à l'importance de l'installation, il en résulte un supplément de dépenses d'exploitation qui rend l'éclairage électrique beaucoup plus cher que l'éclairage au gaz, et par suite impraticable.

Il existe cependant quelques cas spéciaux où ces appareils rendent de réels services : dans les théâtres, où ils peuvent suppléer quelque temps à l'arrêt d'un moteur, dans l'éclairage des soirées mondaines, dans les petites installations domestiques, etc., etc. C'est pour cette raison que nous publions le tarif suivant de MM. Philippart frères, propriétaires des brevets français Faure, Sellon et Volkmar.

Types de laboratoire.

Nos	Poids.	Capacité en ampères-heure.	Prix.
1	4 kg. 5	34	15 fr.
2	6	68	25
3	10	105	30

Types industriels.

0	15	120	40
1	23	180	55
2	30	240	70
3	45	300	90
4	60	400	105
5	85	600	150
6	110	800	190

La force électromotrice d'un accumulateur étant de 2 volts, pour connaître l'énergie électrique en watts, renfermée dans un appareil de type connu, il suffit de multiplier sa capacité par 3 600, puis par 2.

Le type n° 6, par exemple, contient $800 \times 3\,600 \times 2 =$ 5 760 000 watts ou 576 000 kilogrammètres, un peu plus de deux chevaux-heure.

CHAPITRE XVIII

DÉPENSES D'EXPLOITATION

Prix de revient de l'éclairage électrique. — Le prix de revient d'un éclairage électrique se compose : 1° des dépenses courantes d'exploitation, et 2° d'une somme proportionnelle aux frais d'installation et dont la pratique fixe l'importance, pour l'amortissement du matériel.

Les dépenses d'exploitation comprennent le coût du travail moteur, celui de l'entretien des brûleurs et les frais de surveillance de l'ensemble du matériel.

Force motrice. — Le prix d'un travail mécanique quelconque, celui du cheval-heure, par exemple, varie avec la nature et la puissance du moteur; une machine à vapeur de 100 chevaux, bien conditionnée et munie d'un bon générateur, consomme environ 100 kilog. de combustible par heure, tandis qu'une machine de 20 chevaux de construction courante, alimentée par une chaudière ordinaire, en consomme 60 kilogrammes, c'est-à-dire trois fois autant par cheval-heure. D'autre part, le prix du charbon varie suivant la distance des pays houillers au lieu où l'on se trouve. En France, le prix oscille entre 15 et 50 francs la tonne.

Les moteurs hydrauliques sont de beaucoup les plus économiques; mais ils sont le plus souvent installés dans des endroits éloignés des grands centres à éclairer, et on ne peut guère compter sur leur concours que dans des cas exceptionnels.

Les moteurs à gaz sont très commodes pour les éclairages de peu d'importance dans les grandes villes; ils offrent l'avantage

d'une installation rapide, ne présentant aucun danger et ne dépensant qu'au moment même où elle fonctionne. Mais le prix élevé du gaz et de l'eau dans la plupart des villes limite encore beaucoup l'emploi de ce système.

Il est difficile, en présence de la diversité des moteurs et de la variabilité des dépenses auxquelles ils entraînent, d'établir un tableau exact des frais nécessités par le travail mécanique dans une installation d'éclairage électrique; nous pouvons cependant, pour fixer les idées, donner quelques chiffres approximatifs destinés à servir de base à un avant projet.

En France, le prix du cheval-heure est en moyenne de :

0 fr. 01 à 0 fr. 03 avec moteur hydraulique;
0 fr. 03 à 0 fr. 15 avec moteur à vapeur;
0 fr. 35 à 0 fr. 60 avec moteur à gaz.

A Paris, on peut compter sur une dépense de 0 fr. 10 par cheval-heure avec des moteurs à vapeur de 25 à 100 chevaux, et sur 0 fr. 50 avec des moteurs à gaz de 4 à 25 chevaux.

Le prix de 0 fr. 10 généralement admis pour le travail d'un cheval-heure correspond à une dépense, par bec carcel et par heure, de :

0 fr. 001 lorsqu'on fait usage d'arcs et de courants continus;
0 fr. 002 lorsqu'on fait usage d'arcs et de courants alternatifs;
0 fr. 005 lorsqu'on fait usage de lampes à incandescence.

Crayons pour régulateurs. — Le prix des crayons varie avec leur qualité et leurs dimensions. Aux États-Unis, où l'on se contente d'un éclairage sans grande fixité, on vend 0 fr. 20 le mètre de crayon, pour régulateur de 100 becs, tandis qu'en France, où l'on recherche surtout la régularité de la lumière, on vend 1 fr. 50 le mètre de crayon pour une même intensité. Entre ces deux valeurs extrêmes, se trouve comprise une série de prix intermédiaires qu'on rencontre, sans grande modification, dans tous les tarifs des constructeurs électriciens.

Voici, à titre d'exemple, les prix de crayons indiqués dans le tarif de la maison Breguet :

DIAMÈTRE en MILLIMÈTRES.	PRIX DU MÈTRE. en francs.	DIAMÈTRE en MILLIMÈTRES.	PRIX DU MÈTRE. en francs.
1	0,20	14	1,65
2	0,30	15	1,90
3	0,40	16	2,20
4	0,50	17	2,50
5	0,60	18	2,80
6	0,80	19	3,20
7	0,90	20	3,60
8	1,00	23	4,40
9	1,10	25	5,20
10	1,20	28	5,60
11	1,30	30	6,00
12	1,40	35	8,00
13	1,50		

Charbons creux et garnis, en plus 10 pour 100.
— cuivrés — en plus 0 fr. 35 par mètre.

Les tarifs des maisons Gramme, Edison et Sautter, Lemonnier et Cie sont un peu moins élevés.

Dans la préparation d'un projet, on peut évaluer les crayons de 12 millimètres de première qualité servant pour les foyers moyens (de 100 à 150 becs) à 1 fr. 20 le mètre.

Le tableau page 525, établi par M. Javaux, directeur des ateliers de la Société Gramme, résume les résultats d'une série d'expériences faites sur des crayons de diverses compositions. Il résulte de ces expériences que l'usure horaire des crayons n° 1 varie entre 31 et 41 millimètres;

Celle des crayons n° 2 varie entre 32 et 54 millimètres;
— — n° 3 — 49 et 55 —
— — n° 4 — 51 et 60 —
— — n° 5 — 36 et 64 —
— — n° 6 — 48 et 50 —
— — n° 7 — 25 et 48 —

Ces derniers sont donc les meilleurs au point de vue de la durée; mais, plusieurs échantillons s'étant désagrégés sur une assez grande longueur, leur fabrication a encore besoin d'être améliorée pour devenir réellement commerciale.

Avec les déchets de toute nature, crayons cassés, bouts entrant dans les pinces, etc., on peut compter sur une dépense moyenne de 80 millimètres par heure. La dépense réelle en crayons est d'environ 0 fr. 10 pour 100 becs carcels-heure, ou de 0 fr. 001 par bec et par heure.

Bougies. — Les bougies Jablochkoff coûtent 0 fr. 20 l'une, et leur durée moyenne est de 1 heure 40^{m}.

En ramenant ce prix à la dépense horaire, et par bec, on trouve 0 fr. 12 pour une bougie-heure et 0 fr. 003 par bec carcel-heure.

Lampes à incandescence. — Les lampes à incandescence présentent cette particularité qu'une lampe de 16 bougies coûte le même prix qu'une lampe de 8 bougies, et que ces deux lampes, les plus généralement employées dans l'industrie, durent aussi longtemps l'une que l'autre.

Le prix de 5 francs la pièce et la durée moyenne de 1 000 heures sont actuellement admis par tous les électriciens et représentent aussi exactement que possible les éléments de la dépense d'entretien des lampes dans les installations bien établies et soigneusement exploitées.

Cette dépense par carcel-heure est très approximativement de :

0 fr. 0050 avec des lampes de 8 bougies.
0 fr. 0025 — 16 — .

Avec des lampes de grande intensité, la dépense horaire est moins facile à préciser parce qu'on se trouve encore en présence d'une fabrication à ses débuts, donnant des produits un peu irréguliers, surtout au point de vue de la durée. Au théâtre du Châtelet, à Paris, les lampes de 35 carcels durent en moyenne 400 heures et coûtent 28 francs, ce qui correspond à 0 fr. 002 par carcel-heure.

TABLEAU DES CONSOMMATIONS DE CHARBONS ÉLECTRIQUES.

DÉSIGNATION des charbons.	DIAMÈTRE en mm.	USURE A L'HEURE			AMPÈRES I	VOLTS aux bornes du régulateur E	LONGUEUR de l'arc en mm.
		Positif à mèche.	Négatif.	Totale en mm.			
N° 1	7,5	0,034	0,0113	45,3	4,5	40	2
—	8	0,031	0,016	47	4,3	44	2,5
—	10	0,033	0,016	49	8	46	3
—	12	0,022	0,0126	34,6	8	45	2,5 à 3
—	12	0,025	0,015	40	10	42	—
—	12	0,0306	0,018	31,6	12	46	3
—	14	0,024	0,0126	36,6	12	44	3
N° 2	8	0,033	0,0150	48	4,5	40	2
—	10	0,030	0,015	45	8	45	3
—	10	0,0223	0,0125	34,8	5	43	2,5
—	12	0,027	0,0126	39,6	10	42	2,5 à 3
—	14	0,022	0,010	32	12	45	3
—	14	0,036	0,0185	54,5	24	46	3 à 4
—	18	0,0245	0,018	42,5	25	47	3,5 à 4
N° 3	8	0,034	0,0215	55,5	4,5	46	2,5
—	10	0,031	0,015	46	8	45	3
—	12	0,023	0,015	48	10	42	2,5 à 3
—	12	0,031	0,018	49	12	47	3
N° 4	8	0,035	0,025	60	4,5	47	2,5
—	10	0,031	0,017	48	8	48	3
—	12	0,032	0,0193	51,3	12	48	3
N° 5	8	0,041	0,023	64	4,5	46	2,5
—	10	0,040	?	»	8	42	3
—	14	0,023	0,013	36	12	35	3
N° 6	8	0,0325	0,0157	48,2	4,3	45	2,5
—	10	0,0324	0,018	30,4	8	46	3
N° 7	9	0,032	0,016	48	4,3	46	2,5
—	10	0,037	?	»	8	45	3
—	10	0,022	0,0128	34,8	5	38	2,5
—	12	0,0213	0,0126	33,9	8	34,5	2,5 à 3
—	12	0,032	0,016	48	12	46	3
—	12	0,0215	0,0126	34,1	8	37	3
—	14	0,022	?	»	12	46	3
—	16	0,020	0,0093	29,3	12	38	3
—	16	0,016	0,009	25	12	37	3
—	20	0,0233	0,012	35,3	25	47	3,5 à 4

Dépenses diverses. — Aux dépenses énumérées plus haut il est nécessaire d'ajouter les frais de personnel, main-d'œuvre et surveillance, et quelques menus frais accessoires pour le graissage, le remplacement des balais, etc.

L'éclairage à arc nécessite une main-d'œuvre un peu plus considérable que l'éclairage à incandescence, à cause du remplacement des crayons ou des bougies; mais, d'autre part, la surveillance est moins coûteuse avec l'arc, vu le très petit nombre de foyers nécessaire pour une intensité donnée, de sorte qu'on considère les dépenses diverses comme égales dans les deux cas.

Ces dépenses peuvent être évaluées à 5 p. 100 du capital engagé dans l'installation.

Amortissement. — Dans une comptabilité bien tenue, l'amortissement doit être calculé de manière à équilibrer les frais de réparations annuelles et ceux nécessités par le remplacement du matériel lorsqu'il est complètement usé. Pour le matériel électrique, ces frais sont relativement faibles : nous connaissons beaucoup de dynamos et de régulateurs fonctionnant depuis 10 ans, n'ayant pas coûté 1/2 pour 100 d'entretien annuel, et étant en aussi bon état que le jour de leur mise en service. En amortissant le matériel électrique de 5 pour 100 par an, on est donc certain de n'éprouver aucun mécompte.

Nous verrons plus loin que ce taux est notablement dépassé dans les évaluations de dépenses; cela tient à ce que les industriels, n'ayant pas encore de données certaines sur la durée des dynamos et des brûleurs, appliquent aux appareils électriques le même amortissement qu'aux appareils mécaniques. Il vaut d'ailleurs mieux augmenter le taux d'amortissement que le fixer à un chiffre inférieur à la réalité; on pare ainsi aux imprévus toujours un peu à craindre dans une nouvelle spécialité.

Dépenses totales. — Connaissant le coût de l'installation, la puissance absorbée et son prix par unité, la consommation des

crayons ou des bougies et leur prix, la durée moyenne des lampes à incandescence et leur prix, les dépenses accessoires ramenées à un quantum des frais de premier établissement, et le taux de l'amortissement, il devient facile de calculer les dépenses totales d'exploitation.

Les deux exemples suivants indiquent la marche à suivre pour cette recherche et précisent les dépenses horaires moyennes soit avec l'emploi de l'arc, soit avec celui de l'incandescence.

§ 1. — *Cas d'une installation par arc voltaïque.* — Usine éclairée au moyen de 20 régulateurs Gramme n° 2, ayant chacun une intensité de 125 becs, le moteur étant une machine à vapeur et la durée annuelle de l'éclairage de 2 000 heures.

Le prix de l'installation électrique peut être évalué à 500 francs par régulateur, c'est-à-dire à la somme totale de 10 000 francs.

L'installation mécanique peut également être évaluée à la même somme de 10 000 francs.

L'intérêt du capital engagé et l'amortissement s'élèvent à	2 000 fr.	»
Le moteur ayant une puissance de 30 chevaux, ses frais de marche par an seront de 30 × 2 000 × 0,15 = ...	9 000	»
Les crayons consommés coûteront 20 × 0,10 × 2 000 × 1 fr. 20 = ...	4 800	»
Les frais divers s'élèveront à	1 000	»
La dépense totale sera de	16 800 fr.	»

Cette dépense correspond à 0 fr. 42 par régulateur et par heure, et à 0 fr. 0033 par bec carcel-heure.

Si l'intensité lumineuse était prise horizontalement, le bec carcel-heure reviendrait à 0 fr. 01 environ.

§ 2. — *Cas d'une installation par incandescence.* — Établissement industriel éclairé par 200 lampes de 16 bougies; dynamo actionnée par une machine à vapeur; durée du fonctionnement, 1 500 heures par an.

Coût du matériel électrique 200 × 42,82 =	8 564 fr.	»
Coût du matériel mécanique 25 ch × 700 =	17 500	»
Capital engagé.....	26 064 fr.	»

Amortissement et intérêts.....	2 606 fr.	40
Force motrice 25 × 1 500 × 0,15.....	5 655	»
Remplacement des lampes, 300 à 5 francs.	1 500	»
Frais divers 5 pour 100 du capital.....	1 303	20
Dépense totale.....	11 034 fr.	60

Prix par lampe-heure..... 0 fr. 0366
Prix par bec carcel-heure.. 0 fr. 0183

Avec 2 000 heures d'éclairage par an, ces prix deviennent 0 fr. 03 par lampe-heure et 0 fr. 015 par bec carcel-heure.

Calculs de M. Decker. — M. Decker, ingénieur à Nuremberg, à la suite d'une étude sérieuse sur les dépenses de toute nature occasionnées par l'éclairage à l'électricité, est arrivé aux conclusions suivantes :

Prix par heure, tous frais payés, d'un foyer à arc de 120 becs carcels :

Avec un moteur hydraulique, 500 heures d'éclairage par an.....	0 fr.	45
— 1 200 —	0	25
— 3 000 —	0	15
Avec un moteur à vapeur déjà installé, 500 heures d'éclairage par an.	0	55
— 1 200 —	0	32
— 3 000 —	0	23
Avec un moteur à vapeur installé pour l'éclairage, 500 heures d'éclairage par an.....	1	»
Avec un moteur à vapeur installé pour l'éclairage, 1 200 heures d'éclairage par an.....	0	60
Avec un moteur à vapeur installé pour l'éclairage, 3 000 heures d'éclairage par an.....	0	38
Avec un moteur à gaz, 500 heures d'éclairage par an	1	20
— 1 200 —	0	80
— 3 000 —	0	60

Prix par heure, tous frais payés, d'une lampe à incandescence de 16 bougies :

Avec un moteur hydraulique, 3 000 heures d'éclairage par an.....	0	016

Avec un moteur à vapeur déjà installé, 500 heures d'éclairage par an.	0 fr.	051
— 1 200 —	0	035
— 3 000 —	0	023
Avec un moteur à vapeur installé pour l'éclairage, 500 heures d'éclairage par an	0	111
Avec un moteur à vapeur installé pour l'éclairage, 1 200 heures d'éclairage par an	0	064
Avec un moteur à vapeur installé pour l'éclairage, 3 000 heures d'éclairage par an	0	037
Avec un moteur à gaz, 500 heures d'éclairage par an	0	128
— 1 200 —	0	091
— 3 000 —	0	051

Tous ces prix sont basés sur une petite installation de 15 régulateurs ou de 150 lampes à incandescence. Ils devraient être réduits de 30 pour 100 si l'installation dépassait 500 lampes. Ils sont intéressants à consulter pour établir une comparaison entre les divers modes de production de la puissance motrice.

Voici, pour compléter ces données, quelques renseignements émanant de personnes faisant usage de l'éclairage électrique.

Fabrique de soieries de MM. Irénée Brun à Saint-Chamond. — Dans une lettre à l'*Electricien* datée de novembre 1887, M. Brun donne des renseignements fort intéressants au sujet des frais occasionnés par l'éclairage électrique de sa fabrique.

L'éclairage comprend 600 lampes à incandescence, remplaçant 540 becs de gaz. Ces lampes sont, par moitié, des systèmes Edison et Swan ; elles ont une durée moyenne d'environ 1 200 heures. Celles dont le pouvoir éclairant n'est plus suffisant pour l'usine même sont employées, à la fin de leur vie, dans les passages et services où l'on n'a pas besoin de beaucoup de lumière.

La dynamo, du système Edison, est excitée en dérivation et donne 450 ampères et 100 volts. Elle est actionnée par un moteur à vapeur de 90 chevaux, monté spécialement pour l'éclairage ; on se trouve donc dans des circonstances moins favorables que dans la plupart des usines où l'on peut prendre la force motrice sur la machine à vapeur de l'atelier et où l'on évite ainsi une dépense d'installation assez importante. Les frais de premier établissement se sont élevés à 55 000 francs, dont 32 000 francs

pour le moteur, les fondations, les tuyautages, les transmissions, c'est-à-dire pour la partie mécanique et 23 000 francs pour le matériel électrique, dynamo, lampes, fils, etc.

Le prix de revient de l'éclairage se répartit comme suit :

Amortissement, 10 pour 100 sur 55 000 francs ..	5 500 fr.
Intérêts, 5 pour 100.....	2 750
Consommation de charbon.....	1 200
Huile et valvoline.....	250
Remplacement de 600 lampes.....	2 700
	12 400 fr.

Il n'y a pas de dépenses de personnel, l'introduction de la lumière électrique n'ayant amené aucun surcroît de frais sous ce rapport.

Les 540 becs supprimés consommaient annuellement 20 000 francs de gaz. L'économie réalisée est donc de 7 600 francs. Encore devrait-on ajouter à ce chiffre l'amortissement et l'intérêt de l'installation du gaz (qui était revenue à plus de 20 000 francs), soit 3 000 francs, de telle sorte que l'électricité coûte à peu près la moitié du prix du gaz.

Parmi les 600 lampes à incandescence, un certain nombre fonctionnent toute la nuit et fournissent 3 600 heures d'éclairage par an ; pour celles-là, la lampe-heure revient à 1 centime. Quant à celles qui ne sont allumées que le matin et le soir, soit 600 heures par an, elles coûtent 2 centimes par heure.

Les prix de 1 et 2 centimes par lampe-heure sont excessivement faibles ; ils ne représentent en effet que 1/2 et 1 centime par bec carcel-heure. Pour obtenir aussi économiquement la même lumière avec du gaz, il faudrait que celui-ci ne coûtât que 4 ou 8 centimes le mètre cube. Ce bon marché extraordinaire vient surtout de l'évaluation très minime du charbon dépensé. Dans une installation ordinaire spéciale pour l'éclairage, on consommerait en moyenne 500 kilog. de charbon par jour, c'est-à-dire 180 tonnes environ par an. Le charbon rendu à pied d'œuvre coûte, à Saint-Chamond, 15 francs la tonne ; la dépense du combustible devrait donc être de 2 700 francs. Si on ajoutait en outre 5 pour 100 du capital pour main-d'œuvre, on arriverait au prix

normal de 0 fr. 03 par lampe-heure de 16 bougies correspondant à du gaz livré à 0 fr. 12 le mètre cube.

Filature de Blainville. — L'installation comprend 420 lampes de 16 bougies. Le moteur est une roue hydraulique. Du 1er octobre 1884 au 30 septembre 1885, on a compté 465 156 heures d'éclairage. Il a fallu renouveler 460 lampes, ce qui, à raison de 5 francs par lampe, a donné lieu à une dépense de 2 300 francs, soit environ 0,5 centime par heure.

Les frais d'entretien, salaires, intérêts et amortissement du prix d'installation, lequel est de 40 000 francs, ont atteint 12 080 francs. Le prix de la lampe-heure est donc de 3 centimes.

Avant l'introduction de l'électricité, la filature était éclairée au gaz, moyennant 12 000 francs par an ; mais ce gaz était fabriqué par l'usine même. Cette circonstance, très favorable dans ce cas au point de vue économique, explique comment l'éclairage électrique coûte un peu plus que le gaz.

Pour un prix d'installation de 40 000 francs, les frais d'entretien et d'amortissement auraient dû être de 6 000 francs. La dépense réelle ayant dépassé 12 000 francs, il en résulte un supplément assez notable dans le prix de revient d'exploitation que nous n'estimons géneralement qu'à 0 fr. 016 par lampe-heure lorsqu'on fait usage d'un moteur hydraulique.

Tissage du Thillot (Vosges). — L'installation du Thillot se compose de 270 lampes de 16 bougies alimentées par deux dynamos, dont l'une est actionnée par un moteur à vapeur et l'autre par un moteur hydraulique.

L'entretien pendant une année a été à peu près nul.

Les lampes ont vécu 2 960 heures en moyenne.

Le prix de revient par lampe-heure a été :

1° Pour entretien, amortissement et intérêts, de.	0 fr. 005
2° Pour remplacement des lampes.....	0 002
3° Pour force motrice.....	0 007
Total.....	0 fr. 014

Les conditions tout à fait exceptionnelles de cette installation ont réduit les dépenses d'exploitation à un minimum qu'il ne conviendrait pas de prendre pour base d'un devis. Nous ne les signalons à vrai dire qu'à titre de renseignements plus curieux que véridiques, et pour les opposer à celles un peu trop élevées de la filature de Blainville.

Magasins du Printemps. — Les magasins du Printemps ont une surface de 12 612 mètres carrés; ils sont, comme nous l'avons dit précédemment, éclairés par 265 bougies Jablochkoff et 255 lampes à incandescence, fournissant une intensité lumineuse totale de 10 000 becs carcels. La dépense totale d'installation s'est élevée à 684 000 francs.

Les frais d'exploitation annuels s'élèvent à 230 700 francs, ainsi répartis :

Bougies	57 555 fr.
Lampes	3 345
Charbon et huile	39 200
Entretien	29 200
Personnel	33 000
Amortissement	68 400
Total	230 700 fr.

L'éclairage est en moyenne de 1 500 heures par an.

Le prix du bec carcel-heure ressort ainsi à

$$x = \frac{230\,700}{10\,000 \times 1\,500} = 0 \text{ fr. } 015$$

Gare de Strasbourg. — Voici quelques chiffres extraits d'un rapport officiel sur les dépenses d'installation et d'exploitation de l'éclairage électrique de la gare de Strasbourg.

L'installation totale comprend 1 640 lampes à incandescence et 100 régulateurs à arc voltaïque.

Elle a coûté pour l'incandescence	99 463 fr. 60
— pour l'arc voltaïque	199 145 80
Total	298 609 fr. 40

60,000

Du 1er janvier au 31 mars 1884, la durée de l'éclairage a été :

Pour les lampes à incandescence de 16 bougies, 142 194 lampe-heures.
— — 10 — 211 924 —
Pour les régulateurs à arc de 59 755 régulateur-heures.

Les frais d'exploitation, comprenant un amortissement de 15 pour 100, ont été :

Pour les lampes à incandescence de 16 bougies.....	3 960 fr.	64
— — 10 —	4 566	94
Pour les régulateurs à arc voltaïque.....	18 261	31
Total.....	26 788 fr.	89

L'heure d'une lampe de 16 bougies a coûté....	0 fr.	0278
— 10 —	0	0216
L'heure d'un régulateur à arc de 75 becs.....	0	3056

Hippodrome de Paris. — L'éclairage électrique de l'Hippodrome comprend 133 bougies Jablochkoff, 18 régulateurs Gramme et 1 085 lampes à incandescence de 8 bougies. Il est obtenu au moyen de deux machines à vapeur d'une puissance totale de 200 chevaux.

L'intensité lumineuse totale peut être évaluée à 12 000 becs carcels.

L'installation complète, partie mécanique et partie électrique, a coûté environ 250 000 francs.

Par soirée de 3 heures et demie, les dépenses d'exploitation s'élèvent à :

Bougies Jablochkoff.....	38 fr.	20
Charbons électriques.....	5	25
Lampes à incandescence.....	8	75
Houille.....	43	70
Eau.....	10	70
Graissage.....	19	40
Entretien.....	13	50
Personnel.....	87	85
Total.....	227 fr.	35

En admettant 200 représentations par an, l'amortissement et l'intérêt, évalués à 15 pour 100 du prix de l'installation, seront de 187 fr. 50 par soirée.

La dépense totale, comprenant l'exploitation et l'amortissement, est ainsi de 414 fr. 85 pour 3 heures 1/2, ou très approximativement de 120 francs par heure.

Elle correspond à 0 fr. 01 le bec carcel-heure.

Vaisseau de guerre le « Crocodile ». — M. Farquharson a donné à la Société des ingénieurs civils anglais les renseignements suivants sur l'éclairage électrique et sur l'éclairage à l'huile du vaisseau de guerre *le Crocodile*.

L'installation comprend 438 lampes à incandescence, dont 307 de 10 bougies et 131 de 16. Voici les prix des deux systèmes expérimentés pendant une période de trois mois.

Éclairage électrique :

Charbon, 112,5 tonnes à 18 fr. 75 la tonne	2 109 fr.	35
Chiffons, 90 livres (40 kilog.)	27	05
Huile minérale, 180 gallons (818 litres).....	262	50
Huile d'olive, 23 gallons (104 litres)	86	25
Renouvellement de 35 lampes.....	153	10
15 globes de lampes	56	25
Coupe-circuits de sûreté	2	05
Amortissement à 2,5 pour 100.....	300	»
	2 996 fr.	55

Éclairage à l'huile et aux bougies :

Bougies en stéarine, 4 730 livres (2 075 kilog.).	3 955	35
Huile de colza, 493 gallons (2 240 litres).....	1 386	55
Mèches de coton.....	8	55
Verres de lampes.....	5	»
Amortissement à 2,5 pour 100.....	92	50
	5 547 fr.	95
A déduire pour récipients rendus...	117	50
	5 330 fr.	45

La différence est donc dans ce cas en faveur de l'électricité ; elle s'élève à 2 333 fr. 90, pour la période de trois mois pendant laquelle a été faite l'expérience.

Théâtre du Prince, à Londres. — Comme exemple d'une in-

stallation fonctionnant à l'aide d'accumulateurs, nous ne pouvons pas mieux choisir que celle du théâtre du Prince, à Londres, qui, depuis quatre ans, donne des résultats satisfaisants, sinon au point de vue économique, du moins au point de vue de la régularité et de la sécurité de marche.

Cette installation comprend un moteur à gaz de 12 chevaux, une dynamo Siemens, 53 accumulateurs Faure et 360 lampes Swan. L'éclairage annuel dure environ 3 000 heures.

Les dépenses d'exploitation qui, en 1884, n'avaient pas dépassé 11 300 francs, se sont élevées à 17 200 francs en 1885 et à 16 176 francs en 1886, par suite du renouvellement annuel de la moitié des accumulateurs.

En 1886, ces dépenses se sont réparties de la manière suivante :

Gaz pour le moteur, 31 500 mètres cubes à 0 fr. 15.	4 725 fr.
Renouvellement des lampes, 125 à 5 fr.....	625
Renouvellement des accumulateurs, 30 à 150 fr....	4 500
Personnel.....	5 600
Dépenses diverses, graissage, etc.....	726
Total.....	16 176 fr.

Pendant toute l'année il n'est survenu aucune interruption dans l'éclairage, aucun arrêt du moteur.

L'installation a coûté environ 45 000 francs. En ajoutant aux dépenses d'exploitation 10 pour 100 de cette somme, pour intérêts et amortissement, on arrive au total de 20 676 francs.

Les 360 lampes dont se compose l'installation ne fonctionnent jamais toutes ensemble; mais il est facile, connaissant le gaz consommé, de ramener l'éclairage annuel à un nombre déterminé de lampes-heure.

Le moteur dépense 1 mètre cube de gaz par cheval-heure; il y a donc eu une puissance totale fournie de 31 500 chevaux-heure.

La dynamo a un rendement industriel moyen de 0,70.

Les accumulateurs ont un rendement moyen de 0,70.

Les lampes de 16 bougies consomment 7 1/2 kilogrammètres par seconde de puissance électrique.

En effectuant les calculs on trouve que les 31 500 mètres cubes de gaz ont servi à entretenir allumées 157 500 lampes pendant une heure. Le prix de la lampe-heure ressort donc à 0 fr. 13 et celui de la carcel-heure à 0 fr. 065.

Ces chiffres sont beaucoup plus élevés que ceux qui seraient résultés de l'emploi du gaz; cependant le directeur du théâtre du Prince, mettant la sécurité des spectateurs au-dessus de ses intérêts immédiats, est très satisfait de son éclairage et conseille à tous ses confrères de faire des installations semblables à la sienne.

QUATRIÈME PARTIE

APPLICATIONS

CHAPITRE XIX

INSTALLATIONS PRIVÉES

Classification des applications. — On désigne sous le nom d'*installations privées* celles qui ont leurs générateurs d'électricité placés dans des locaux dépendant des établissements à éclairer. Les éclairages réalisés dans les ateliers, les manufactures, les théâtres, les gares, les magasins, les maisons d'habitation, etc., constituent des installations privées. Les usines électriques qui fournissent le courant à un pâté de maisons ou à une série d'ateliers contigus rentrent dans la même catégorie, si les conducteurs ne traversent pas la voie publique.

On appelle *stations centrales* les usines qui desservent un nombre plus ou moins grand de maisons ou d'établissements indépendants les uns des autres. Ces usines vendent de la lumière à l'électricité comme les compagnies gazières vendent la lumière au gaz; leur canalisation, qui a une importance capitale au point de vue des frais de premier établissement, traverse les rues et les places publiques, soit sur des poteaux, soit en sous-sol, soit au-dessus ou le long des maisons. Elles sont soumises à des règlements de police différents pour chaque localité, mais ayant tous pour but commun d'éviter les accidents et de faire participer l'industrie de l'éclairage électrique aux charges municipales.

Premières installations d'éclairage électrique. — Avant 1873, la lumière électrique avait déjà reçu de nombreuses et importantes applications dans les théâtres, les phares, les opérations stratégiques, les fêtes populaires, les grands chantiers, etc., etc.; mais il n'existait aucune installation permanente d'éclairage obtenu au moyen de cette lumière. Il a fallu que M. Gramme inventât sa machine et l'étudiât spécialement en vue de l'éclairage, pour que la nouvelle lumière artificielle s'implantât définitivement dans les usines, dans les constructions privées et sur la voie publique.

Travaux des chemins de fer du Nord de l'Espagne. — Parmi les anciennes installations provisoires, nous citerons seulement celle réalisée, sous l'initiative de M. Lechatellier, par M. Bukaty sur les chemins de fer du Nord de l'Espagne. M. Brüll a fait, sur cette application, un rapport détaillé auquel nous empruntons les quelques lignes suivantes :

« La Compagnie des chemins de fer du Nord de l'Espagne, au commencement du mois de janvier 1862, a fait faire de sérieuses expériences avec les régulateurs de lumière électrique du système Serrin. Les résultats ayant été satisfaisants, elle a fait l'acquisition de vingt régulateurs que l'on a expédiés dans les montagnes de Guadarrama, avec les piles et les matières nécessaires pour leur alimentation.

« Les premières installations étaient mises en activité au mois de mars 1862; au mois de juillet, il y en avait huit, et la lumière a été employée régulièrement jusqu'au 15 octobre. A cette époque, la durée de l'éclairage s'élevait en total à 3 717 heures. Après trois mois d'interruption causée par le froid rigoureux et les intempéries, on a repris, au mois de février 1863, les travaux de nuit et l'emploi de la lumière électrique, qui fonctionna continuellement dans dix chantiers jusqu'au 12 juin, époque de l'achèvement des travaux.

« La durée de l'éclairage, dans cette période, est de 5 700 heures. La durée totale, pendant les deux époques, est de 9 417 heures. La lumière a toujours été belle et régulière; elle éclairait les chantiers avec profusion, sans blesser pourtant les travailleurs par son intensité. On a employé deux genres de ré-

flecteurs, hyperboliques et paraboliques; les réflecteurs hyperboliques doivent être préférés. La dépense par heure des matières consommées a été de 2 fr. 90 par lampe. L'économie réalisée par l'application de l'éclairage électrique sur les torches est d'environ 60 pour 100. Si l'on considère en outre la gêne causée par la fumée des torches concentrée dans les profondes tranchées remplies de travailleurs, les pertes de temps pour entretenir leur combustion, leur faible clarté, on verra la grande et incontestable supériorité de la lumière électrique. La crainte de produire dans des temps égaux moins de travail pendant la nuit que pendant le jour n'est pas fondée. En été, l'ouvrier, n'étant pas accablé par la chaleur du jour, travaille avec plus d'énergie et produit davantage; pendant les nuits froides, il travaille pour se réchauffer; dans aucun cas, le service de nuit n'est inférieur au service de jour. »

Ateliers de la Société Gramme. — La première installation permanente de l'éclairage à l'électricité a été réalisée en décembre 1873, à Paris, dans l'atelier de la Société Gramme. La lumière était fournie par un seul foyer qui remplaçait 25 becs de gaz. Pendant dix années, la marche a été régulière et le prix de revient n'a pas dépassé 0 fr. 60 par heure, tous frais compris. La salle éclairée avait environ 12 mètres sur 12 mètres et 5 mètres de hauteur.

Depuis l'agrandissement considérable de ses ateliers, la Société Gramme a installé, pour son usage personnel, les dynamos les plus perfectionnées et des brûleurs de toutes provenances dont elle étudie la valeur commerciale tout en éclairant ses divers locaux : ajustage, montage, bobinage, laboratoire, magasins, bureaux et emballage.

Fonderie Ducommun, à Mulhouse. — A la suite d'une visite faite en avril 1874 par M. Steinlen dans l'atelier Gramme, les successeurs de M. Ducommun se décidèrent à éclairer leur fonderie par la nouvelle lumière et ils commandèrent, à cet effet, 4 dynamos Gramme du type normal et 4 régulateurs Serrin.

L'essai, retardé pour divers motifs, ne fut fait qu'en janvier 1885.

Son succès fut complet.

Voici comment nous signalions cette application dans les précédentes éditions de cet ouvrage :

« La fonderie Ducommun est de construction récente. Elle est bien disposée pour l'éclairage à l'électricité, quoique rien n'ait été approprié spécialement à cet effet. (La construction était entièrement terminée lorsqu'on s'est décidé à y installer la lumière électrique.)

« C'est une grande halle, sans mur de refend ni cloison verticale, ayant 56 mètres de longueur intérieure et 28 mètres de largeur. Deux grands chariots roulants, destinés à la manœuvre des châssis, des pièces moulées et des poches remplies de fonte en fusion, circulent automatiquement d'une extrémité à l'autre du bâtiment. A $5^{m},50$ du sol, au niveau même des chariots, règne sur les deux côtés un plancher de quelques mètres de largeur. Le toit est à deux versants, la charpente peu encombrante; les murs sont blanchis à la chaux.

« Les régulateurs Serrin sont placés sur de petites consoles légèrement en saillie sur les planchers latéraux. On les aborde au moyen d'une échelle, comme cela a lieu pour les lanternes publiques de l'éclairage au gaz. Les foyers sont élevés à 5 mètres du sol, leur écartement est de 21 mètres dans le sens de la longueur et de 14 mètres dans le sens de la largeur.

« Les machines Gramme sont placées dans l'annexe où se trouvaient déjà la chaudière et la machine servant au ventilateur. Le moteur ayant été largement calculé pour le but qu'il devait atteindre, il a été inutile de le modifier et on a pu, sans inconvénient, lui faire actionner simultanément les appareils électriques et le ventilateur des cubilots. L'installation est d'une grande simplicité : les machines Gramme sont placées au premier étage sur une même ligne et elles reçoivent leur mouvement d'un arbre intermédiaire unique.

« Toutes les pièces sont facilement accessibles, et le service d'entretien, qui se réduit d'ailleurs à quelques précautions de propreté, peut se faire pendant la marche aussi bien que pendant le repos. La machine motrice est du type Sulzer; sa marche est très régulière et la consommation de combustible est faible.

« L'éclairage est général et d'une intensité constante; à n'im-

porte quel endroit du local, il est aisé de lire un écrit placé à distance normale des yeux. Il n'y a presque pas d'ombres portées, grâce aux jets croisés de lumière émanant des quatre lampes.

« L'installation complète a coûté, en chiffre rond, 10 000 fr.; c'est ce qu'aurait coûté environ l'installation de 250 becs de gaz. La lumière totale, produite par l'électricité, dépasse 400 becs. »

Ateliers Sautter, Lemonnier et Cie, à Paris. — C'est également à nos précédentes éditions que nous empruntons les détails de l'installation de MM. Sautter et Lemonnier, installation qui est bien augmentée aujourd'hui, mais dont nous voulons seulement conserver la place parmi les premières applications permanentes.

Elle fut réalisée, comme celle de la maison Ducommun, au commencement de l'année 1875.

Voici ce que nous disions alors :

« L'éclairage à l'électricité avait sa place marquée dans les ateliers de MM. Sautter, Lemonnier et Cie, les fabricants si connus de phares lenticulaires, d'abord parce que personne plus que ces messieurs n'est familiarisé avec l'usage des fortes lumières, et ensuite parce que, dès les premiers essais de M. Gramme, ils ont demandé et obtenu l'autorisation de construire des machines de son système.

« L'installation de leur atelier leur permettait de se convaincre eux-mêmes et de démontrer aux visiteurs que ce mode d'éclairage était excellent à tous les points de vue, et que, dans certaines conditions de dispositions locales et pour certains genres de travaux, il devait être préféré à tous les autres.

« Les ateliers Sautter et Lemonnier se composent de deux travées de 30 mètres de longueur sur 25 mètres de largeur chacune; un plancher à 6 mètres du sol règne entre ces deux travées sur une longueur de 10 mètres. Au rez-de-chaussée sont les machines-outils : tours, raboteuses, fraiseuses, poinçonneuses, cisailles, forges, etc., etc.; les ajusteurs y travaillent les grosses pièces et l'on y fait le montage des machines. Au premier sont les modeleurs, ferblantiers et ajusteurs travaillant le bronze et les pièces de précision; trois machines Gramme, donnant chacune une lumière équivalente à 150 becs carcels, éclairent l'atelier d'une façon suffisante pour que tout autre mode d'éclairage ait été

supprimé, aussi bien pour les ouvriers travaillant aux machines-outils que pour les ajusteurs de précision.

« On pourrait croire que, dans un atelier de cette sorte, les ombres portées par les outils, par les courroies, par les colonnes sont une grande gêne pour le travail, et que, partout où la lumière n'arrive pas directement, le contraste fait paraître l'obscurité plus grande qu'avec un autre mode d'éclairage. Il n'en est rien. La lumière diffuse ou, en d'autres termes, la lumière réfléchie par tous les points éclairés est telle, qu'il n'y a point, à proprement parler, dans l'atelier, de recoin sombre et qu'un ouvrier distingue facilement les objets placés au fond de son tiroir.

« La lumière électrique, pas plus là qu'ailleurs, ne blesse ni ne fatigue la vue des ouvriers; ils perdent au bout de très peu de jours l'habitude de la regarder et sont tous très satisfaits d'un mode d'éclairage qui rend le travail de nuit aussi facile que le travail de jour. »

Usines Menier. — M. Menier a fait installer la lumière électrique dans ses divers établissements et en a tiré un excellent parti, grâce à des dispositions particulières bien comprises. Trois dynamos Gramme furent installées dans la fabrique de caoutchouc de Grenelle dès le mois de novembre 1875. Au commencement de l'année suivante, 8 nouvelles dynamos furent mises en action à la chocolaterie de Noisiel et 3 dans la sucrerie de Roye.

Dans toutes ces usines, les régulateurs étaient suspendus de telle sorte qu'on pouvait les garnir de leurs charbons et les nettoyer au moyen d'un treuil de manœuvre placé à proximité.

Ce treuil est de l'invention de M. Henri Menier. Il se compose de deux flasques en fonte, montées sur un plateau de bois dur, et d'un tambour en caoutchouc durci. Les fils conducteurs sont attachés, l'un à la flasque de gauche, l'autre à la flasque de droite, et celles-ci communiquent métalliquement avec les extrémités du câble de suspension.

Ce câble est formé d'une enveloppe extérieure en toile, d'une gaine en caoutchouc, d'une première série de fils en cuivre tressés comme une mèche, d'une deuxième gaine en caoutchouc, et enfin d'une série de fils de cuivre tressés en corde et formant l'axe du câble.

L'enroulement sur le tambour se fait très aisément. Un petit rochet empêche la lampe de descendre seule.

A l'occasion de la première distribution des prix des écoles de l'usine, M. Menier a donné, le 20 août 1876, un banquet de 1 450 couverts, dans une tente de 65 mètres de longueur, 32^{m},50 de largeur et 7 mètres de hauteur. Le banquet et le bal, qui a suivi, ont été éclairés d'une manière féerique par 6 régulateurs de 150 becs. Un phare de 1 200 becs, placé à quelque distance de la tente, éclairait la campagne dans un rayon de plus d'un kilomètre.

Port du canal de la Marne au Rhin, à Sermaize. — L'éclairage électrique a été installé vers la fin de 1875 sur l'un des ports du canal de la Marne au Rhin, à Sermaize, port contigu à une sucrerie. On voulait continuer pendant les longues nuits d'hiver le déchargement, si pressé alors, des bateaux de betteraves et en conduire immédiatement le contenu à l'usine, sans mise en dépôt sur le terre-plein du canal. Il importait d'ailleurs que le terre-plein restât libre en tous sens pour la circulation. Ce problème spécial fut résolu grâce à une machine Gramme alimentant un régulateur de 200 becs carcels, placée près d'une des machines à vapeur de l'usine, à 70 mètres de distance de la lampe. Les ouvriers, qui déchargent souvent deux bateaux simultanément, peuvent travailler sans le moindre embarras. Ce fait a été constaté par l'ingénieur du canal et par le directeur de la sucrerie ; ce dernier nous a écrit qu'il était très satisfait de cet éclairage, que la machine Gramme atteignait à merveille le but qu'il s'était proposé, et lui économisait au moins 10 francs par heure.

Il est bon de dire que dans les sucreries la dépense occasionnée par l'éclairage électrique est à peu près limitée aux crayons de charbon des lampes, car la vapeur dont on se sert pour actionner le moteur peut encore être utilisée en sortant de l'échappement.

Éclairage des magasins. — La lumière électrique convient principalement aux magasins de nouveautés, parce qu'elle conserve aux couleurs leurs nuances les plus délicates, qu'elle per-

met de prolonger d'une heure ou deux, chaque jour, la période de temps consacrée à la vente, qu'elle rend la surveillance plus facile et plus effective, et, surtout, parce qu'elle supprime presque entièrement les risques d'incendie.

Les grands magasins du Louvre, ceux du Printemps, du Gagne-Petit, du Bon Marché, ont successivement transformé leur éclairage et sont aujourd'hui entièrement installés à l'électricité.

Eclairage du Louvre. — Le Louvre a donné l'exemple. Sous l'habile direction de M. Honoré, ses sous-sols ont été agencés dès 1878 pour recevoir une série de dynamos Gramme et Méritens, ainsi que toutes les machines à vapeur et les chaudières nécessaires à leur fonctionnement. La bougie Jablochkoff a été choisie et installée dans les divers étages, à l'exclusion de presque tous les autres genres de brûleurs. (Un très petit nombre de lampes à incandescence, alimentées par une dynamo Edison, ont été montées après l'installation générale et distribuées dans les bureaux de l'administration).

La puissance mécanique totale utilisée à cet éclairage est d'environ 250 chevaux.

Le nombre des bougies, qui augmente d'année en année, dépasse actuellement 200. Tous les chandeliers sont du système Clariot que nous avons décrit page 384 et dont M. Honoré est très satisfait.

Il résulte d'une expérience déjà longue et faite avec tout le soin possible que le prix par heure de la bougie Jablochkoff, tous frais compris, est de 0 fr. 40, et que celui d'une lampe Edison de 16 bougies est de 0 fr. 05.

Ces prix donnent sur le gaz employé jadis une économie de plus de 30 pour 100.

Éclairage du Printemps. — C'est également au moyen de bougies Jablochkoff que les nouveaux magasins du Printemps, édifiés en 1882, sont éclairés. Les autres brûleurs n'y sont qu'à l'état d'exception. Nous avons déjà parlé de l'importance considérable de cette installation et donné quelques renseignements sur les dépenses occasionnées par la mise en place du matériel mécanique et du matériel électrique. Nous ne revenons sur ce

sujet que pour indiquer comment a été faite la répartition de la lumière et pour représenter la grande nef (Fig. 296) le soir, alors qu'elle est complètement privée de la lumière du jour.

DISTRIBUTION DE LA LUMIÈRE DANS LES MAGASINS DU PRINTEMPS.

LOCAUX.	SURFACE.	INTENSITÉ totale EN CARCELS.	CARCELS par MÈTRE CARRÉ.
Vestibule	160m²	390	2,43
Rotonde d'angle	96	150	1,56
Grande nef	428	670	1,56
Galeries, rez-de-chaussée	1 265	1 260	1,00
Entresol	1 285	1 020	0,79
1° étage	1 575	1 264	0,80
2° —	1 575	1 272	0,80
3° —	1 575	816	0,52
4° —	1 500	394	0,26
5° —	1 200	322	0,26
Réserves sous-sol	1 375	390	0,29
Chambre des machines	428	140	0,32
Chambre de chauffe	150	60	0,40
Escalier de service	»	90	»
Cabinet	»	60	»
Éclairage intérieur	12 612m²	8 292	0,65

A part l'éclairage intérieur proprement dit, l'installation électrique donne également de la lumière à divers salons, au plafond de la nef, aux façades des magasins et à toutes les pièces accessoires que comporte un aussi vaste établissement. Ces services spéciaux exigent à eux seuls une intensité lumineuse de plus de 1 250 carcels.

Éclairage du Gagne-Petit.— Cet éclairage, contrairement aux deux précédents, n'est pas réalisé par la bougie Jablochkoff; il comprend 400 lampes à incandescence et 10 régulateurs à arc, alimentés par quatre dynamos Édison. La puissance motrice est

fournie par une machine Boudier de 100 chevaux et 2 chaudières multitubulaires Collet.

Les régulateurs sont du système Cance; ils sont disséminés dans les grands locaux pour donner à l'éclairage général une intensité qui lui faisait complètement défaut avec l'emploi exclusif de l'incandescence.

Les 400 lampes Édison remplacent un nombre égal de lampes à huile, car, chose assez curieuse, les directeurs du Gagne-Petit n'avaient jamais voulu introduire le gaz dans leurs magasins à cause des dangers d'incendie et d'explosion qu'il entraîne. Ils avaient fait faire de fortes lampes à huile, donnant chacune un carcel et demi dont l'exploitation coûtait 0 fr. 30 par heure.

Inutile de dire que l'électricité a apporté au Gagne-Petit une économie considérable en outre des avantages généraux qui sont l'inévitable conséquence de son emploi.

Éclairage du Bon Marché. — A part la canalisation qui, si considérable qu'elle soit, ne saurait être comparée à celle d'une ville entière, ou même à celle d'un quartier unique si la ville est grande, l'installation électrique du Bon Marché a une importance comparable à celle des plus fortes stations américaines.

Toute la machinerie est réunie dans deux immenses salles situées dans le deuxième sous-sol des magasins.

Sans parler des moteurs affectés à des services étrangers, tels que : ventilateurs, pompes, ascenseurs, etc., la puissance motrice totale s'élève à plus de 1200 chevaux. Les générateurs à vapeur sont du type Belleville. Les machines, au nombre de 10, fournies par la maison Lecouteux et Garnier, sont, les unes horizontales, système Corliss, les autres verticales à grande vitesse.

Tous ces moteurs ne fonctionnent pas à la fois; un certain nombre d'entre eux est réservé pour les éclairages extraordinaires (fêtes ou expositions); d'autres sont installés comme moteurs de secours et peuvent s'accoupler ou se substituer rapidement l'un à l'autre par un jeu de robinets de vapeur ou à l'aide de manchons d'embrayage. L'ensemble est bien agencé : la circulation est facile à travers toute l'usine; le service mécanique et le service électrique, bien que solidaires pendant la marche, sont absolument indépendants, sans confusion possible d'attributions.

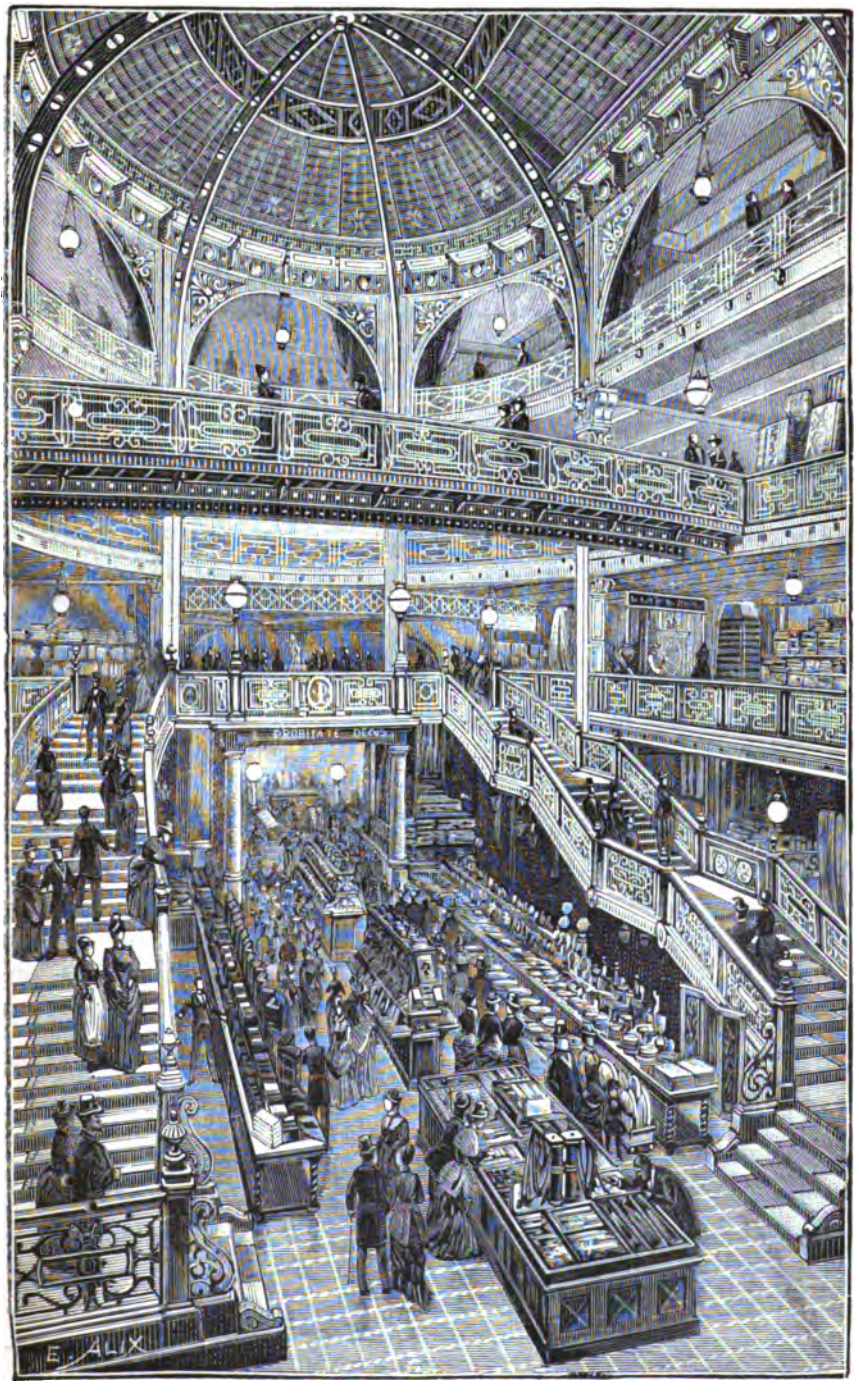


Fig. 296. — Grande nef du « Printemps » éclairée à l'électricité.

Le matériel électrique, en y comprenant les appareils de rechange, se compose de :

24	dynamos Gramme	de 375	ampères.
2	—	550	—
4	—	125	—
1	—	300	—
2	dynamos Édison	de 500	—
8	—	Gramme à courants alternatifs n° 2.	

Les machines à courant continu fonctionnent avec une différence de potentiel de 70 volts aux bornes.

Ces 41 dynamos représentent une puissance électrique totale d'environ 900 000 watts, c'est-à-dire de 1 200 chevaux.

La partie la plus importante de l'installation et en même temps la mieux groupée comporte les 24 dynamos Gramme du type supérieur et les 4 machines à vapeur horizontales de 200 chevaux chacune. Cet ensemble constitue la plus belle batterie électrique existant en Europe.

Chaque machine à vapeur commande une transmission intermédiaire qui renvoie le mouvement à 6 dynamos Gramme indépendantes, et étagées de manière à en permettre l'accès facile.

Sur les 4 groupes ainsi constitués, 3 sont normalement en service; le quatrième sert de rechange ou de secours.

Dans chaque groupe, 5 dynamos sont en activité, la sixième est également de rechange ou de secours dans son propre groupe.

Sur les 24 dynamos, 15 seulement sont ainsi destinées à l'éclairage normal. L'architecte du Bon Marché a pris, comme on voit, un luxe de précautions qu'on pourrait taxer d'excessif, si on ne prévoyait pas à bref délai l'augmentation du nombre des brûleurs.

Chaque dynamo est munie d'un rhéostat permettant d'équilibrer exactement les petites différences de tension pouvant résulter, soit de la construction des appareils d'un même groupe, soit des écarts entre les vitesses des machines à vapeur d'un groupe à l'autre. Toutes les dynamos se trouvent ainsi instantanément interchangeables.

Les conducteurs principaux ont une section de 215 millimètres carrés pour les dynamos de 375 ampères, et de 260 milli-

mètres carrés pour les dynamos de 550 ampères. Tous les câbles de départ, posés en caniveaux sous le sol, n'apparaissent à l'extérieur que par les attaches très soignées qui les relient aux dynamos.

Des tableaux de commutation, en nombre égal à celui des groupes, permettent d'opérer tous les changements nécessaires au service.

Cinq des dynamos de chaque groupe sont représentées au tableau par un commutateur dont la position de droite correspond au fonctionnement normal et la position de gauche à la substitution de « rechange ». Un sixième commutateur, d'aspect différent, introduit au besoin la dynamo de réserve aux lieu et place d'une quelconque des autres.

Chaque tableau de commutation porte en outre un ampèremètre, pouvant se mettre sur l'une ou l'autre des dynamos à l'aide d'un interrupteur à bascule, et un voltmètre, également applicable à l'une quelconque des dynamos au moyen d'un double bouton de contact.

Vingt tableaux de distribution (5 par groupe) sont destinés à envoyer le courant dans les brûleurs. Seize d'entre eux commandent chacun 30 régulateurs Cance ; le courant y arrive par un câble de 150 millimètres carrés et en repart par 30 petits conducteurs à 3 fils, pris en dérivation sur les câbles principaux.

Les tableaux de distribution portent, pour chaque régulateur qu'ils commandent :

1 commutateur de mise en marche et d'extinction ;
1 coupe-circuit à fil de plomb ;
1 avertisseur électro-magnétique à indication optique ;
1 socle destiné à recevoir des appareils de mesure portatifs ;
1 résistance d'équilibre.

Ce système, bien que coûteux, est excellent, car il asssure l'indépendance absolue et le contrôle des lampes.

Quant au tableau de distribution pour les lampes à incandescence, il comporte 5 circuits d'arrivée et 20 circuits de départ. Le groupement de ces circuits s'effectue à l'aide de robustes verrous en cuivre. Chaque circuit possède, au tableau, un coupe-

circuit général à lame de plomb et une lampe-témoin avec coupe-circuit spécial. L'introduction du courant dans les circuits s'opère au moyen d'un levier à bascule en connexion permanente avec l'un des pôles, et qui, en s'abaissant, se met en contact avec l'autre pôle du circuit.

Cette première partie de l'installation présente, tant au point de vue mécanique qu'au point de vue électrique, une sécurité remarquable; elle peut servir de type à une station mixte d'arc et d'incandescence par courant continu.

La seconde partie, comprenant les générateurs électriques destinés à alimenter les foyers Jablochkoff, est également bien établie.

Elle se compose de 8 dynamos Gramme auto-excitatrices à courants alternatifs, type n° 2, groupées chacune en trois circuits de 4 foyers et pouvant, par suite, alimenter 96 foyers en tout. Les conducteurs venant des machines sont reliés à deux tableaux de commutation recevant chacun 12 circuits d'arrivée, sur lesquels 9 sont normalement en service et 3 sont en réserve pour secours ou rechange.

Tous les circuits sont munis, au tableau, d'une prise de courant pour les appareils de mesure, d'un commutateur de commande, d'un coupe-circuit et d'un avertisseur de marche à sonnerie et à indication optique.

Les machines et les circuits sont interchangeables.

Les deux tableaux de distribution comportent chacun 16 arrivées et 12 départs, et laissent ainsi une marge de 4 arrivées par tableau.

Le service des courants alternatifs est complété par des tableaux de commutation analogues à ceux du premier groupe, pour en assurer le fonctionnement normal d'une manière absolue.

Toute la canalisation partant des tableaux de distribution et répartie dans les différentes parties de l'immeuble est placée dans des moulures en bois ou dans des caniveaux réservés à cet effet dans les planchers supérieurs d'où les fils descendent aux appareils. Les parties ascendantes des conducteurs desservant les étages montent dans des courettes extérieures, d'où elles sont aisément accessibles et faciles à surveiller.

Le réseau d'alimentation est croisé de manière à assurer, en toutes circonstances, l'éclairage au moins partiel de tous les locaux, sans aucune exception.

L'éclairage total a une intensité de 19188 carcels, provenant de 290 régulateurs Cance, 96 bougies Jablochkoff, 1808 lampes à incandescence de 10 bougies ou parité.

Le tableau suivant donne la répartition de ces foyers par étage au commencement de 1888 :

DISTRIBUTION DE LA LUMIÈRE AU « BON MARCHÉ »

ÉTAGES.	SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE.	INTENSITÉ TOTALE de la lumière en carcels.	SURFACES ÉCLAIRÉES en m.².	INTENSITÉ EN CARCELS par mètre carré.
Sous-sols	Incandescence....	868	10 930	0,08
Rez-de-chaussée.	Régulateurs à arc.	8 500	8 498	1,00
1er étage.....	—	6 000	8 868	0,68
2e —	Bougies Jablochkoff.	2 880	9 050	0,32
3e —	Incandescence....	425	4 025	0,10
4e —	— ...	425	4 025	0,10
5e —	— ...	90	2 050	0,04

En outre de cet ensemble de foyers, les magasins sont éclairés les jours de fête par 4 régulateurs Gramme de 500 becs carcels chacun.

L'appareillage a été étudié et placé de manière à s'harmoniser avec l'ornementation des divers locaux et en vue de la décoration générale de l'immeuble.

Toutes les manœuvres d'allumage et d'extinction se font de la machinerie même, par ordres téléphoniques donnés des étages supérieurs. Aucun appareil électrique n'est à la portée du public et du personnel étranger au service de l'éclairage.

Le personnel chargé de ce service se compose d'un chef mécanicien et d'un chef électricien, ayant sous leurs ordres 2 sous-chefs, 4 conducteurs de machines à vapeur, 4 conducteurs de dynamos, 8 chauffeurs et un magasinier ; soit 21 personnes en

tout pour assurer le fonctionnement normal et l'exploitation régulière d'une usine électrique de 1 200 chevaux.

L'achèvement récent de cette magnifique installation, qui fait le plus grand honneur à l'architecte qui l'a dirigée, ne permet pas encore de se rendre compte du prix de revient de l'éclairage. Il faut attendre, pour avoir un renseignement exact à ce sujet, que l'expérience ait permis une organisation perfectionnée, ne laissant place à aucun mécompte dans l'emploi judicieux de tout le matériel. Le premier but à atteindre était d'assurer un bel éclairage partout et à toute heure de jour et de nuit, en éliminant d'une manière aussi absolue que possible tous les risques d'incendie. C'est actuellement chose faite. On va maintenant chercher à exploiter l'usine le plus économiquement possible, tout en conservant intégralement les avantages de salubrité, de sécurité et de commodité obtenus à l'heure présente.

Éclairage des usines. — C'est dans les usines possédant des machines motrices que la lumière électrique peut surtout rendre de grands services, sans nécessiter des frais élevés d'établissement ; aussi est-ce là que furent réalisées les premières applications réellement pratiques, et c'est également là que le nombre des installations s'est le plus rapidement multiplié. L'éclairage à arc produit, à égalité de lumière, une économie considérable, permet de travailler la nuit comme en plein jour, supprime presque complètement les risques d'incendie, laisse à l'air ambiant tout son oxygène, etc. L'éclairage par incandescence, bien que d'un prix plus élevé que le précédent, possède tous ses avantages généraux, et son emploi est encore plus commode. Le succès toujours croissant des deux modes d'installation est donc pleinement justifié. C'est par milliers qu'on compte aujourd'hui les installations par arc voltaïque ou par incandescence dans les ateliers de construction, les manufactures, les forges, les scieries, etc., etc. Il est probable que, dans vingt ans, il n'existera plus un seul atelier mû par la vapeur ou par une chute d'eau qui ne soit pourvu de matériel électrique, aussi bien pour l'éclairage que pour la transmission de mouvement du moteur aux outils.

Nous pourrions citer un très grand nombre d'usines éclai-

rées par l'électricité, et donner quelques renseignements sur la nature des dynamos et des brûleurs employés; mais cela nous ferait sortir des limites du cadre que nous nous sommes imposé. Quelques exemples suffiront, d'ailleurs, pour montrer la diversité des applications et des systèmes adoptés dans les installations.

Ateliers Cail, à Paris. — Les ateliers Cail sont éclairés par l'arc et par l'incandescence, combinés de manière à répondre à toutes les exigences du travail. Des mesures spéciales sont prises pour assurer l'indépendance des foyers, de manière à pouvoir éteindre ou allumer les uns ou les autres sans troubler le service général.

La superficie totale éclairée est de 23 400 mètres carrés, savoir :

22 000 m², ateliers de mécanique et ajustage;
700 m², bureaux de dessin;
700 m², magasins et bureaux.

Le nombre total des foyers est de 177, dont 94 lampes à arc voltaïque et 83 lampes à incandescence; ils sont alimentés par 4 dynamos Gramme, type vertical, capables chacune de produire, à la vitesse de 700 tours par minute, un courant utilisable de 280 ampères, sous une différence de potentiel aux bornes de 70 volts, ce qui correspond à 19 600 watts ou environ 26 chevaux de 75 kilogrammètres. La force motrice nécessaire en pleine marche est de 140 chevaux pour l'ensemble. On peut indifféremment monter sur le circuit extérieur d'une machine :

48 lampes à arc de	40 carcels	=	1 920 carcels.		
ou 28	—	100	—	= 2 800	—
ou 21	—	150	—	= 3 150	—
ou 12	—	500	—	= 6 000	—
ou 350 lampes à incandescence de	0,08 carcel	=	280 carcels.		

Dans le cas présent, trois machines alimentent respectivement 24, 26 et 22 lampes à arc, et la quatrième, 22 lampes à arc et 83 lampes à incandescence, ce qui correspond à une puissance lumineuse totale de plus de 8 000 carcels.

Les dépenses de premier établissement pour la partie électrique se sont élevées, pose comprise, à 72 675 francs. Il serait

possible d'obtenir pour 50 000 francs, les chaudière, moteur à vapeur et transmission correspondant à une force de 140 chevaux. Une installation électrique de cette importance reviendrait donc, terrain et bâtiment non compris, à 122,675 francs.

Les dépenses d'entretien sont en moyenne par heure de 0 fr. 107 pour les foyers à arc et de 0 fr. 01 pour les lampes à incandescence, avec une consommation de force motrice de 1,38 cheval pour les premiers, et de 10 kilogrammètres pour les secondes, transmissions comprises.

Fabrique de scies Mongin et Mayer. — Cette importante fabrique, située avenue Philippe-Auguste, à Paris, est depuis deux ans éclairée à l'électricité.

L'installation comprend 24 régulateurs Gramme de 125 carcels chacun; l'intensité totale est ainsi de 3 000 carcels, et, comme la surface de l'usine est très approximativement de 3 000 mètres, il en résulte que chaque mètre carré reçoit en moyenne la lumière d'un bec carcel.

Les 24 régulateurs sont alimentés par 4 dynamos Gramme du type dit à 5 lumières.

Pour obtenir 6 foyers au lieu de 5 avec ces dynamos, on a simplement porté leur vitesse de 1 450 tours à 1 650 tours par minute. A cette vitesse, on obtient 13 ampères et 350 volts.

Les conducteurs sont en fils de cuivre de 1,5 mm. de diamètre; ils sont isolés par un ruban imprégné de gutta, recouvert de deux couches de coton et d'un enduit au blanc de zinc. La longueur totale des quatre circuits est de 1 950 mètres.

Les crayons électriques ont 14 millimètres de diamètre. Chaque régulateur en consomme 7^{cm} par heure, déchet compris.

Les régulateurs sont suspendus par des cordes passant sur des poulies à gorge, ce qui permet de les descendre facilement pour renouveler les crayons.

La puissance mécanique nécessaire pour commander les 4 dynamos est de 32 chevaux; elle est prise sur deux arbres de couche actionnés par le moteur de l'usine. Un embrayage fixé sur l'arbre intermédiaire de commande permet l'arrêt et la mise en marche des quatre machines à la fois.

La vitesse des transmissions étant susceptible de varier avec

la puissance qu'exige le travail des ateliers, on a intercalé dans chaque circuit un rhéostat de résistance variable, permettant de ramener l'intensité lumineuse à sa valeur normale quand elle tend à s'en écarter. Ces rhéostats servent aussi à équilibrer les circuits, qui n'ont pas tous la même résistance, par suite des différences de longueur.

La qualité de la lumière permet de juger le recuit par la couleur de l'acier aussi bien que dans le travail de jour. Son intensité, qui serait peut-être superflue dans une autre industrie, facilite considérablement le travail des planeurs, attendu que le jeu de la lumière sur les stries soyeuses de l'acier, déjà en partie poli, peut seul indiquer rapidement à l'ouvrier le point où il doit donner le coup de marteau.

Dépôt central de l'artillerie. — La plupart des arsenaux, des fonderies de canons et des directions d'artillerie sont aujourd'hui pourvus d'installations électriques très importantes et parfaitement aménagées. Les ateliers de Bourges, de Puteaux, de Chatellerault, de Lyon, de Rennes, de Toulouse, de Douai, etc., s'éclairent entièrement au moyen de régulateurs à arc et de lampes à incandescence. Parmi toutes ces installations, nous en décrirons sommairement une seule, et nous choisirons celle des ateliers de Saint-Thomas d'Aquin, à Paris, qui, bien que restreinte au point de vue du nombre des foyers, est fort réussie et a servi de modèle à un grand nombre d'autres.

Cette installation comprend des régulateurs et des lampes à incandescence, de manière à donner un éclairage général et à mettre à la disposition des ouvriers la lumière nécessaire au travail des pièces, dans toutes les positions.

Dans l'atelier de précision, on a placé deux régulateurs Gramme de 300 bougies et 82 lampes à incandescence, dont 2 de 25 bougies et 80 de 10 bougies.

Les régulateurs et les lampes de 25 bougies servent à l'éclairage général des ateliers. En outre, chaque ouvrier a à sa disposition une lampe de 10 bougies fixée sur un support qui coulisse sur la tige d'un pied mobile; de cette façon, il peut déplacer le foyer lumineux et s'éclairer suivant ses besoins. La lampe reçoit

le courant par un fil souple qui est fixé par une extrémité au support et par l'autre à une planchette à bornes.

Les lampes sont du système Swan, nouveau modèle à douille; elles sont montées sur des supports à baïonnette et à commutateur pour l'extinction de chaque lampe.

Le courant est fourni par 2 dynamos Gramme, auto-régulatrices, disposées de façon à être montées en quantité si le courant des deux machines devient nécessaire pour l'éclairage; chacune d'elles peut fournir 50 ampères et 70 volts. Sur un panneau placé près des machines, on a fixé un ampèremètre qui indique s'il est nécessaire de grouper les deux machines. Ce panneau porte également les commutateurs pour le groupement et les rhéostats qui permettent l'allumage des régulateurs. La force motrice nécessaire est de 6 chevaux par machine; elle est fournie par la machine fixe horizontale qui commande l'atelier.

L'atelier des gros modèles possède également une machine électrique du même type, mise en mouvement par une machine demi-fixe. Elle sert à alimenter 3 régulateurs Gramme et 52 lampes Swan de 10 bougies, qui sont répartis dans les ateliers des modèles d'armes, de la lithographie et les divers bureaux afférents à ces services.

Huilerie Marchand, à Dunkerque. — Les bâtiments de cette usine occupent une surface d'environ 13 000 mètres carrés, étages compris, et se divisent en trois parties :

1° La fabrication, où se trouve l'atelier des presses, des meules et de l'épuration;

2° Les magasins à graines;

3° Les bureaux de l'administration.

Les divers bâtiments sont séparés par des gros murs et comprennent chacun un service spécial d'éclairage, susceptible de marcher à une heure quelconque de la journée ou de la nuit; les circuits sont donc absolument indépendants et peuvent être fermés à volonté sur les lampes, sans qu'on ait besoin de passer par la salle des machines.

L'éclairage complet comprend actuellement 330 lampes de 10 et 16 bougies et un régulateur de 300 bougies. L'intensité totale

peut être évaluée à 650 carcels, ce qui correspond à un carcel seulement pour 20 mètres carrés.

Pendant la journée, il y a environ 80 lampes en activité.

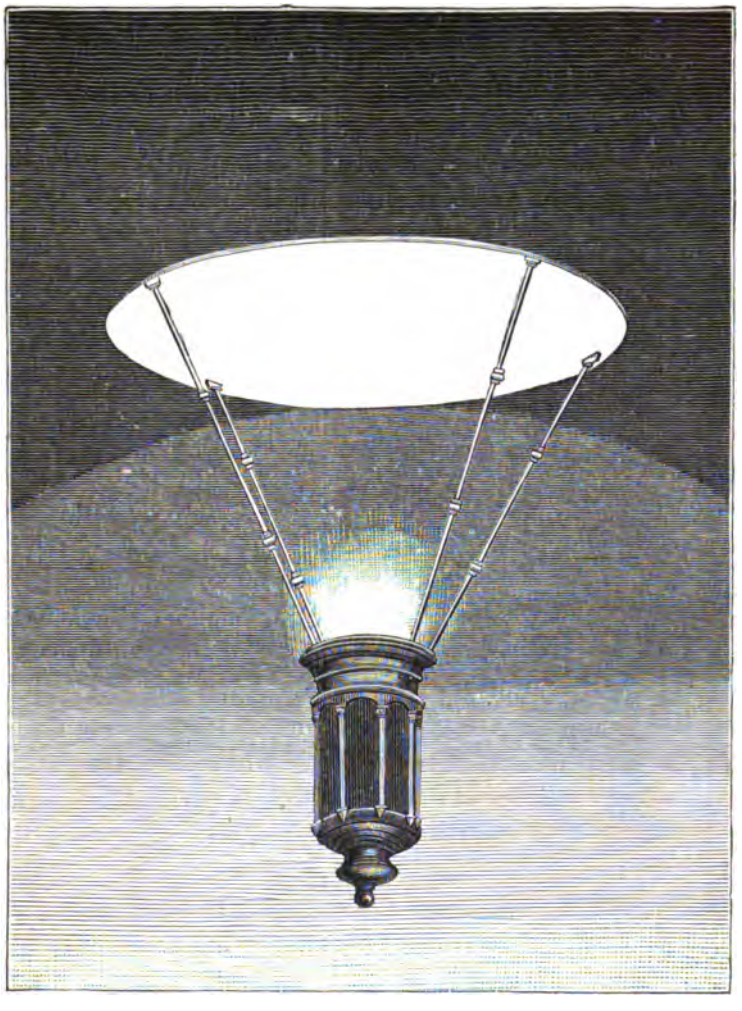


Fig. 297. — Appareil de réflexion système Jaspar.

La canalisation principale, partant du milieu des bâtiments, forme deux boucles, suivant les murs extérieurs de l'usine, sur lesquelles sont branchées des colonnes montantes pour desservir les étages supérieurs. A chaque étage, un câble intermédiaire,

muni d'un commutateur et d'un coupe-circuit, commande toutes les lampes.

Les 80 lampes pour le service de jour sont branchées sur un câble indépendant qui part d'une dynamo spéciale, et elles sont raccordées sur le retour commun de la canalisation principale.

La puissance mécanique est prise sur la machine à vapeur de 500 chevaux actionnant tous les outils de la fabrique.

L'installation électrique a coûté 19 105 francs, c'est-à-dire 58 francs par lampe.

Éclairage par réflexion. — Il existe un certain nombre d'établissements éclairés par des régulateurs à arc, qui projettent leurs rayons sur le plafond et dont on ne voit pas le foyer.

Ce système, qui a l'avantage de ne pas fatiguer la vue et de bien égaliser la lumière, utilise un peu moins bien l'énergie électrique et nécessite des plafonds blancs exceptionnellement bien entretenus.

M. Jaspar exposait, en 1881, un appareil complet que nous représentons (Figure 297), destiné à être placé dans des emplacements dont les plafonds obliques ou non blanchis réfléchissent mal la lumière.

Le régulateur Jaspar était renfermé dans une sorte de tambour opaque qui le cachait complètement aux yeux des visiteurs.

Les rayons lumineux, s'échappant de la partie supérieure du tambour, éclairaient vivement un grand disque en papier blanc qui diffusait la lumière dans la salle.

Trois appareils, recevant un courant de 20 ampères, suffisaient pour éclairer une salle de 24 mètres sur 12 mètres. La lumière était bien répartie et sa douceur, contrastant avec les lumières crues du voisinage, était du plus heureux effet.

Éclairage dans les caissons de fondation. — Nous avons eu l'occasion d'établir, de 1882 à 1885, plusieurs petits éclairages dans les caissons des chantiers de M. Zschokke, l'un de nos grands entrepreneurs de travaux publics. Pour connaître le ré-

sultat de ces installations, nous nous sommes récemment adressé

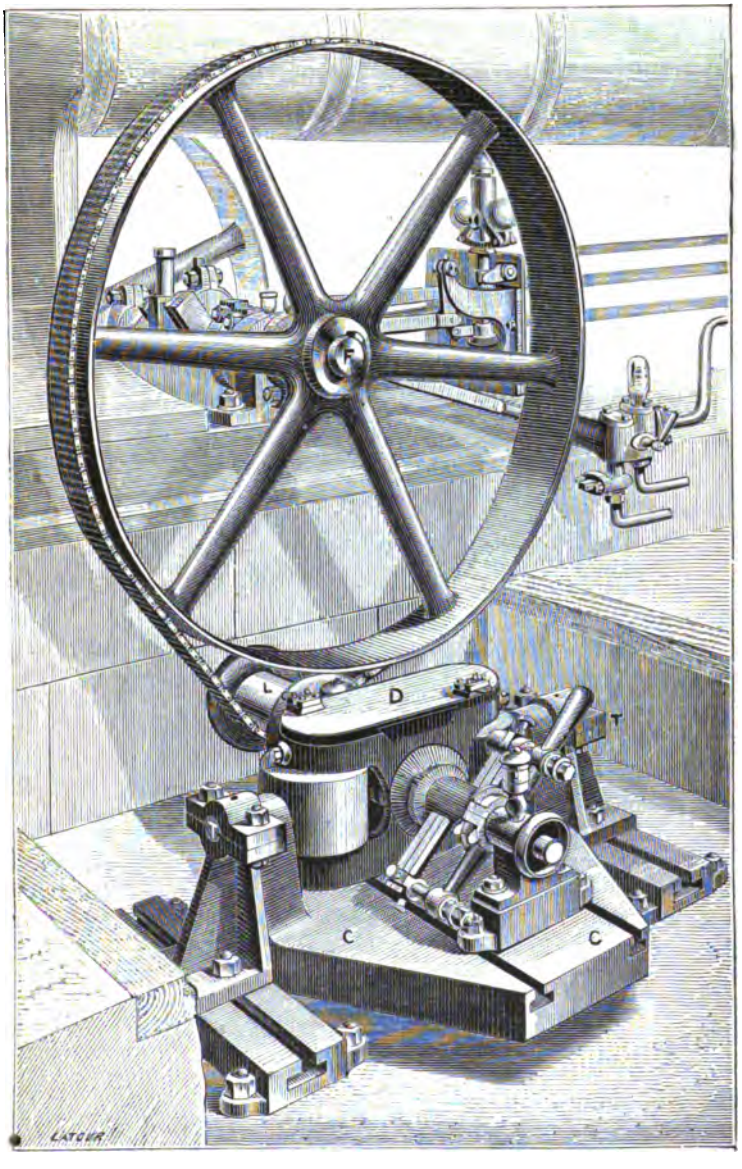


Fig. 298. — Commande de dynamos par courroie courte.

à M. A. Olivier, ingénieur de M. Zschokke, qui, de son côté, a consulté les divers chefs de chantiers.

Après avoir terminé sa petite enquête, M. Olivier nous a répondu une lettre fort élogieuse, de laquelle nous extrayons les quelques lignes suivantes :

« Voici le résumé des appréciations des directeurs de chantiers, qui sont toutes les mêmes :

« L'éclairage des caissons se fait exactement de la même manière que celui d'une salle quelconque où l'on a disposé des lampes à incandescence. Le résultat est entièrement satisfaisant; il est plus intense que l'éclairage à bougies, le seul pratiqué autrefois; l'air n'est plus vicié et les ouvriers travaillent plus longtemps dans les caissons sans être incommodés; la température est moins élevée, et le travail fourni par chaque ouvrier plus considérable; le prix de revient de l'éclairage est sensiblement inférieur, bien que les mouvements des caissons produisent d'assez fréquentes ruptures de lampes. »

Commande des dynamos par courroies courtes. — Nous représentons (Fig. 298) le système imaginé par MM. Ayrton et Perry pour commander les dynamos au moyen de courroies courtes.

Ce système consiste à suspendre la poulie L de la dynamo à une courroie passant sur le volant F du moteur, la courroie étant juste assez longue pour embrasser le volant et la poulie avec un léger jeu.

La dynamo D est montée sur un châssis CC de manière à pouvoir osciller autour d'un axe TT établi à angle droit de l'axe de l'induit.

Pour opérer le montage, on enlève la poulie L et on fixe la dynamo horizontalement sur le châssis mobile de manière qu'elle soit bien en équilibre sur l'axe TT. On remet alors la poulie qui se trouve ainsi supportée par la courroie.

Le poids de la poulie L et la position du châssis C par rapport au volant sont tels que la résultante de la tension des deux brins de la courroie, pour le maximum de puissance transmise, est égale au poids de ladite poulie L et agit verticalement en son centre. Les composantes horizontales des tensions des deux brins s'équilibrent, en sorte que les pressions exercées par l'induit sur les coussinets sont simplement égales au poids de l'induit et de l'arbre.

La disposition de commande combinée par MM. Ayrton et Perry nous paraît excellente. Nous en conseillons l'emploi partout où le défaut d'emplacement force à avoir des courroies courtes et verticales.

Exposition de Manchester. — Le Concours industriel ouvert

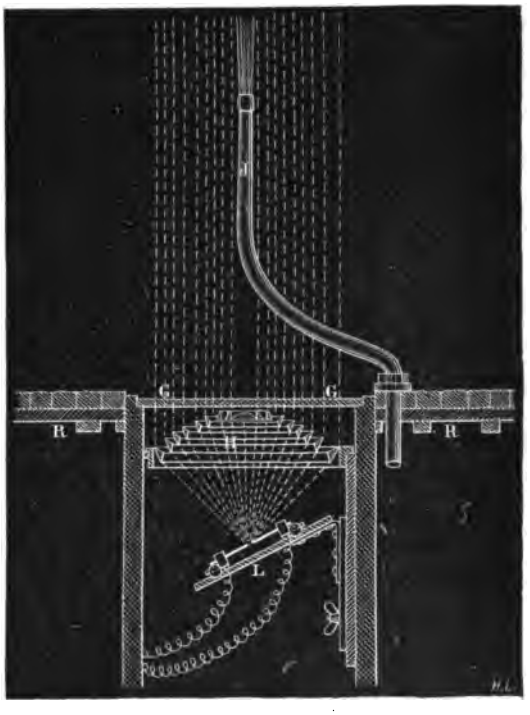


Fig. 299. — Fontaine lumineuse.

en 1887, à Manchester, nous a fourni l'occasion de revoir les fontaines lumineuses installées les années précédentes à Londres et de nous rendre compte de la quantité de lumière nécessaire dans les divers emplacements d'une Exposition.

L'appareil principal des fontaines lumineuses (Fig. 299) se compose d'un foyer à arc placé sous le jet d'eau. La lampe L se trouve dans un compartiment souterrain, ayant un plafond en verre GG constituant une fenêtre imperméable à travers laquelle

la lumière est projetée en haut, dans l'eau, suivant la direction des lignes pointillées. Ce compartiment souterrain est maçonné et couvert de terre RR, ce qui lui donne l'aspect d'une petite île au milieu du bassin. Les rayons lumineux sont rendus parallèles au moyen d'un holophote cata-dioptrique H, d'un diamètre de 600 millimètres environ, composé de 6 zones de réflexion et d'une lentille centrale de Fresnel à deux anneaux à réfraction. La longueur focale de cet holophote est de 150 millimètres.

En dehors de cette lampe à arc, il y en a d'autres plus petites destinées à projeter des rayons obliques sur la colonne d'eau montante.

L'intensité totale de la lumière concentrée dans les divers services de l'Exposition dépassait 66000 carcels; elle était répartie comme il est indiqué sur le tableau ci-après :

RÉPARTITION DE LA LUMIÈRE A L'EXPOSITION DE MANCHESTER EN 1887.

DÉSIGNATION.	SURFACE en m².	INTENSITÉ totale EN CARCELS.	CARCELS par MÈTRE carré.	NATURE de L'ÉCLAIRAGE.
Section des machines. ...	13 350	20 158	1,51	Arc voltaïque.
Restaurant (Nef-Ouest). ..	2 230	3 367	1,51	—
Bâtiment principal	23 313	27 276	1,17	—
Grande Avenue.....	2 898	3 351	1,16	—
Jardin botanique.....	55 740	4 514	0,081	—
Jardin Sud-Est.....	15 143	893	0,059	—
Jardin d'agrément.	41 703	2 001	0,048	—
Galerie de peinture.....	2 945	2 945	1, »	Incandescence.
Vieux Manchester	3 344	1 000	0,30	—
Restaurant Victoria.	1 282	666	0,52	—
ÉCLAIRAGE TOTAL..	161 948	66 181	0,41	

Exposition universelle de 1889. — L'Exposition de 1889 sera ouverte au public tous les soirs jusqu'à 11 heures, mais seulement pour la visite des parties suivantes :

1° Palais des machines;

2° Galerie centrale faisant communiquer le palais des machines aux jardins du Champ de Mars;

3° Galeries latérales Rapp et Desaix;

4° Terrasses des palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux;

5° Jardins du Champ de Mars;

6° Bâtiment de l'exploitation;

8° Palais des produits alimentaires;

8° Fontaines et bassins éclairés sous l'eau.

La surface totale des espaces couverts éclairés sera d'environ 100 000 mètres carrés, et celle des espaces à découvert d'environ 200 000 mètres carrés.

Une puissance motrice de 3000 chevaux produisant une lumière totale de 150000 carcels a été prévue.

L'intensité sera ainsi d'un carcel par mètre carré couvert et de 0,25 carcel par mètre carré d'espace découvert. L'intensité moyenne pour toute la partie éclairée, qui était à Manchester de 0,41 carcel, sera à Paris de 0,50 carcel par mètre carré.

Il y aura en outre, d'une part, un supplément important d'éclairage fourni gratuitement par les exposants dans le palais des machines, et, d'autre part, un grand nombre de cafés, de restaurants, de théâtres, etc., seront brillamment illuminés et apporteront également au jardin et aux galeries un supplément considérable de lumière.

L'éclairage électrique de l'Exposition a été concédé à un syndicat international dont l'administration a été confiée à MM. H. Fontaine, P. Lemonnier, L. Rau et P. Fabry, et dont nos collègues ont bien voulu nous décerner la présidence.

Les électriciens du monde entier pourront participer aux opérations de ce syndicat, qui fera tous les frais d'installation et de fonctionnement des appareils mécaniques et électriques, et qui recevra, pour toute rémunération, la moitié du prix des entrées du soir.

CHAPITRE XX

ÉCLAIRAGE DES THÉATRES

État de la question. — L'Hippodrome de Paris est le premier théâtre qui ait été éclairé complètement par l'électricité. L'installation de ses foyers, commencée par nos soins en 1878, a été successivement augmentée, et elle n'a jamais, même dans ses débuts, donné lieu à des extinctions ou à tout autre inconvénient sérieux.

Depuis 1878, l'électricité a, petit à petit, pénétré dans des établissements analogues et dans des salles de théâtre proprement dites. Vers le milieu de l'année dernière (1887) on comptait déjà, tant en Europe qu'en Amérique, une cinquantaine de théâtres éclairés par de l'arc voltaïque ou par des lampes à incandescence. Citons parmi ces théâtres : l'Opéra, le Châtelet, les Variétés et le Palais-Royal, à Paris; les salles du Prince, Empire, Syrie et Haymarket, à Londres; l'Alhambra et la salle Molière, à Bruxelles; la Scala et la salle Philodramatique, à Milan; l'Alexandra, à Saint-Pétersbourg; le théâtre Flamand et le Grand-Théâtre, à Anvers; les théâtres de Prague, de Brünn, de Stuttgart, de Cologne, de Munich, de Carlsbad, de Magdebourg, etc.

Chaque année on installait électriquement une dizaine de théâtres en Europe et autant aux États-Unis; mais la grande majorité de ces établissements restait éclairée au moyen de gaz. Les choses en étaient là quand les catastrophes successives de l'Opéra-Comique à Paris et du théâtre d'Exeter en Angleterre, surgirent et émurent si profondément l'opinion, que les municipalités obligèrent les directeurs de théâtres à prendre immédiatement des mesures de sécurité, parmi lesquelles figurait, en

première ligne, la substitution de l'éclairage électrique à l'éclairage au gaz. Plus de cent directeurs se mirent à l'œuvre pour obéir aux nouvelles prescriptions et changent, en ce moment, leur mode d'éclairage.

En supposant que cet élan ne se ralentisse pas, il y a tout lieu de présumer qu'à la fin de 1889 tous les théâtres importants, sans exception, seront pourvus de brûleurs électriques perfectionnés.

Avantages de l'éclairage électrique dans les théâtres. — M. Mascart, membre de l'Institut, a présenté, à la Commission des théâtres subventionnés un excellent rapport sur l'éclairage des théâtres, où il met en parallèle les deux systèmes concurrents et où il fait ressortir les avantages de l'électricité sur le gaz, sans dissimuler d'ailleurs les qualités de ce dernier.

Nous allons donner une analyse sommaire de ce rapport :

« Le gaz, dit M. Mascart, donne une lumière agréable à la vue et vivante, pour ainsi dire, par le mouvement de sa flamme, sans odeur sensible quand il est bien réglé et pouvant prendre toutes les formes désirables par un simple changement des becs ; dans les théâtres en particulier il répond à tous les besoins de la décoration et du service de la scène, sauf pour certains effets accessoires que l'on a pris l'habitude de demander à la lumière électrique.

« C'est enfin une lumière toujours prête à servir, ayant sa source en dehors de l'édifice, pratiquement inépuisable, qu'on allume, qu'on éteint ou qu'on modère à volonté, en chaque point, sans avoir à se préoccuper du nombre des becs allumés dans toute l'étendue de la distribution. »

Parmi les inconvénients du gaz, M. Mascart signale tout d'abord les risques d'incendie et démontre que ces risques sont beaucoup plus grands sur la scène que dans la salle. « Il suffit, dit-il, d'avoir assisté une fois à la manœuvre hâtive et compliquée des décors, pour être convaincu que les précautions les plus rigoureuses risquent de devenir illusoires. Les cintres sont encombrés de toiles au milieu desquelles montent, descendent et se balancent des herses qui parfois ne portent pas moins de 100 becs

de gaz. Les portants et les traînées communiquent par des tuyaux flexibles avec des robinets situés sous la scène; lorsque l'ajustage est terminé, l'appareilleur frappe du pied sur le plancher pour qu'on ouvre les robinets et il procède ensuite à l'allumage. Mais tous les becs ne peuvent être allumés en même temps et quelquefois il y a malentendu, etc... Aussi n'est-il pas rare de voir à ce moment des flammes d'une longueur démesurée qu'aucune réglementation pratique ne peut éviter d'une façon absolue. » L'énumération des dangers courus pendant chaque représentation, dans un théâtre éclairé par le gaz, fait frémir et force à reconnaître qu'il faut une excellente organisation intérieure et des employés bien exercés pour que des incendies graves ne se manifestent pas plus fréquemment que cela n'a lieu dans la réalité.

L'altération de l'air est le second inconvénient capital de ce mode d'éclairage; M. Mascart entre à son sujet dans des détails fort intéressants que nous reproduisons presque en entier, car ils se rapportent, non seulement aux théâtres, mais à toutes installations d'éclairage au gaz.

« Au point de vue de l'hygiène, on doit tenir compte des produits de la combustion et de l'oxygène absorbé. La combustion du gaz, quand elle est complète, donne presque exclusivement de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique. La vapeur d'eau par elle-même contribue à augmenter l'état hygrométrique généralement trop faible des salles chauffées, à moins toutefois que l'eau condensée ne finisse par ruisseler sur les murs et tomber des plafonds. L'acide carbonique n'est pas incommode tant qu'il n'existe qu'en faible proportion.

« Mais, sans parler des produits nuisibles, on ne peut négliger l'appauvrissement de l'air en oxygène dans une salle close. Pour apprécier l'importance de cette cause d'altération, il suffit de remarquer que la production d'acide carbonique par un bec de gaz consommant 120 litres à l'heure équivaut à la respiration d'environ 4 personnes de taille moyenne. Il faut porter ce nombre à 9 ou même 12 personnes si l'on tient compte de la consommation d'oxygène qui correspond à la formation de l'eau. Dans les salles de théâtre bien éclairées, il n'y a pas moins d'un bec de gaz par spectateur, le plus souvent un et demi, quelquefois trois.

Avec ce mode d'éclairage l'air respirable est donc plus appauvri en oxygène que si l'on décuplait le nombre des spectateurs.

« Toutefois l'influence physiologique de l'air ne tient pas uniquement à sa richesse en oxygène et en acide carbonique, et les produits de la respiration, toutes choses égales, sont assurément plus nuisibles que les produits d'une combustion bien réglée; l'influence relative du gaz est donc réellement moindre que ne semblent l'indiquer les chiffres qui précèdent.

« Lorsque la combustion est incomplète, comme il arrive trop souvent, par suite d'un défaut de réglage, les flammes charbonnent; il se forme des produits accessoires tels que l'acétylène, dont l'odeur est facile à reconnaître, et les particules de charbon qui ont échappé à la combustion s'ajoutent aux poussières ordinaires pour tapisser les poumons comme elles tapissent les parois de la salle.

« Toutes ces causes d'altération, jointes à la respiration des spectateurs finissent par rendre absolument malsain l'air d'une salle mal ventilée. »

En terminant son examen sur les installations au gaz, M. Mascart signale les dégâts matériels occasionnés par la fumée, dégâts qui peuvent s'évaluer et se porter au compte de l'éclairage lorsqu'il s'agit de peintures et de décorations communes, mais qui sont incalculables lorsqu'on est en présence d'œuvres d'art pouvant être compromises ou perdues à tout jamais.

Passant à l'emploi de l'électricité, le célèbre rapporteur critique l'usage de foyers à arc dans l'intérieur des théâtres, tout en l'admettant pour les projections sur la scène et pour l'éclairage des facades et des escaliers; puis il examine successivement les avantages et les inconvénients des moteurs, des dynamos, des conducteurs et des brûleurs. Il demande, et nous ne saurions trop demander avec lui, la suppression des fumées épaisses qui nuisent à la propreté et à l'hygiène et qu'on rencontre maintenant au-dessus d'une foule d'établissements, au centre même de nos plus belles villes d'Europe.

Pour M. Mascart, l'éclairage électrique exige l'établissement d'une usine spéciale, ce qui n'est pas sans inconvénients; mais il supprime presque entièrement les dangers d'incendie si l'in-

stallation est bien faite et le service bien organisé. Elle supprime également les dégâts matériels occasionnés par la fumée sur les œuvres d'art et laisse à l'air tous ses principes vivifiants.

M. Mascart donne enfin une foule de prescriptions utiles sur le matériel électrique et de précieuses indications sur les progrès généraux de l'éclairage.

Voici les conclusions de son excellent rapport, que nous ne saurions trop engager les électriciens et les directeurs de théâtres à consulter:

« En résumé, si la lumière du gaz a des qualités et des avantages qui justifient son emploi général et lui assurent, pour longtemps encore, une prospérité croissante, elle présente aussi, pour les salles occupées par un public nombreux, des inconvénients graves au point de vue de l'hygiène et des dangers que la surveillance la plus attentive ne peut pas toujours conjurer.

« La lumière électrique prend sa place à côté du gaz; elle est surtout appelée à jouer un rôle important dans l'éclairage de luxe et dans toutes les circonstances où l'on veut, en ménageant l'air respirable, éloigner la crainte des incendies.

« La substitution progressive de l'une à l'autre dans un certain nombre d'applications se fera d'une manière d'autant plus certaine que, avec l'accroissement continu de l'éclairage, l'insalubrité et les dangers du gaz augmentent en raison même de la consommation, ce qui n'a pas lieu au même degré pour l'électricité.

« Il serait peut-être excessif d'imposer dès aujourd'hui la lumière électrique à toutes les salles de spectacle; mais il n'est pas douteux que ce soit là un progrès désirable. L'État donnera donc un exemple utile en l'établissant dans les théâtres subventionnés ; il ne tardera pas à être imité par les municipalités et par l'industrie privée qui a déjà pris les devants sur beaucoup de points. Tout le monde y a d'ailleurs intérêt : le public pour sa sécurité, les directeurs de théâtres pour garantir leur entreprise, rassurer leur personnel et couvrir la responsabilité si lourde qui pèse aujourd'hui sur eux. »

Hippodrome de Paris. — L'Hippodrome a primitivement été

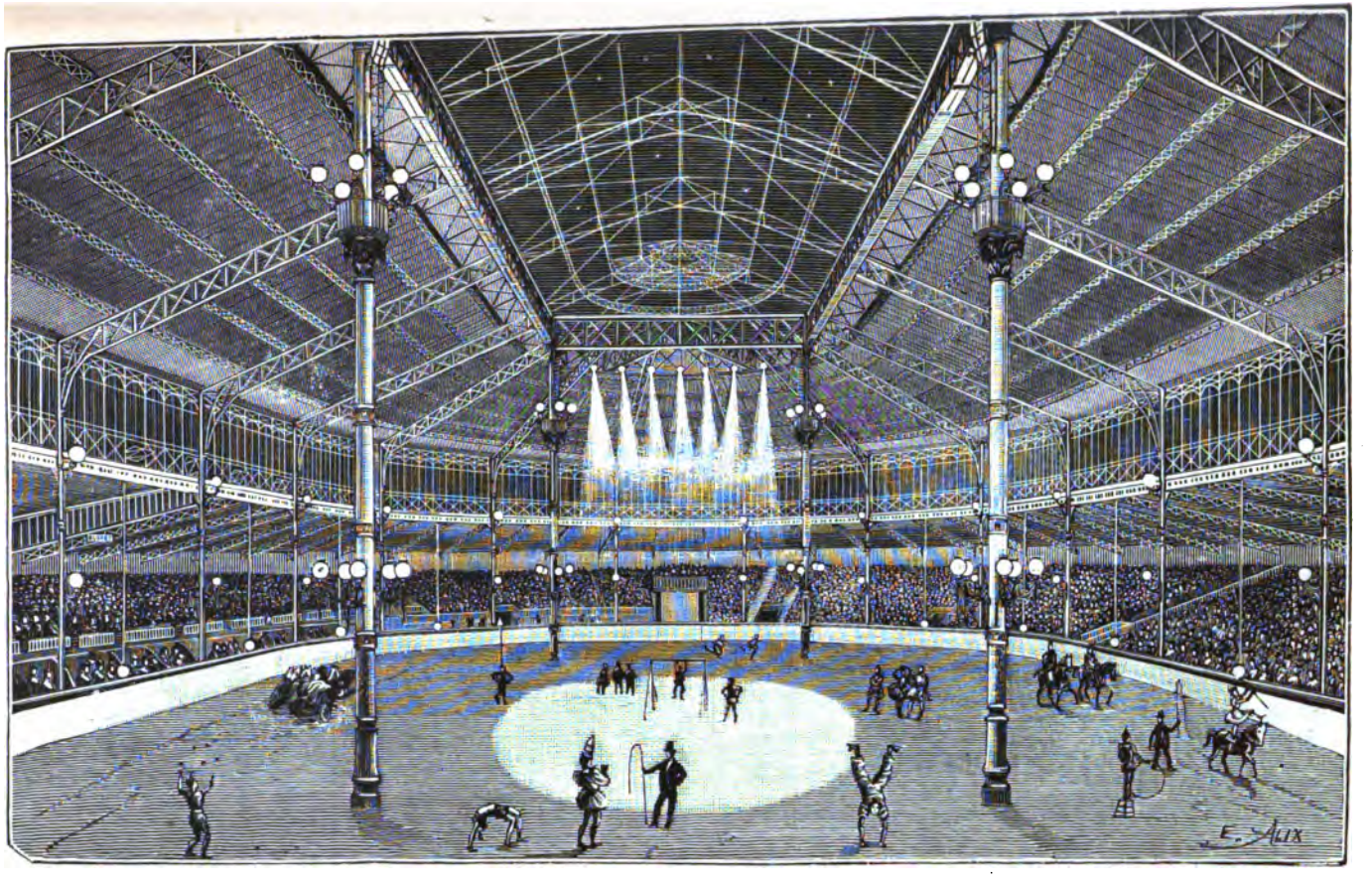


Fig. 300. — Éclairage de l'Hippodrome.

éclairé par 4 régulateurs Serrin de 500 becs et 4 dynamos Gramme du type normal. L'effet ayant répondu à l'attente des organisateurs, on compléta successivement l'installation où se trouvent réunis aujourd'hui les trois genres de foyers électriques : régulateurs à arc, bougies Jablochkoff et lampes à incandescence.

La salle, que nous représentons (Fig. 300), est immense et, lorsqu'elle est entièrement illuminée, son aspect est réellement féerique. Sa forme est celle d'un rectangle terminé par deux demi-circonférences. Quatre colonnes en fonte, distantes de 36 mètres dans un sens et de 17 dans l'autre, sont les seuls points d'appui de cette belle construction.

La longueur totale de l'établissement est de 105 mètres, sa largeur de 70 mètres et sa hauteur, au milieu, de 25 mètres. La surface totale de la salle est de 6 300 mètres carrés. Huit mille personnes environ peuvent y trouver place et circuler librement.

La piste est éclairée par 20 régulateurs Gramme munis de puissants réflecteurs, la salle par 133 bougies Jablochkoff disposées autour des colonnes et sur le pourtour des loges ; 1085 lampes à incandescence complètent l'éclairage des diverses parties du théâtre.

La puissance motrice est obtenue par deux machines à vapeur horizontales de 100 chevaux chacune.

L'intensité lumineuse totale est, comme nous l'avons dit précédemment, de 12 000 becs carcels.

La salle des dynamos, que nous représentons (Fig. 301), contient principalement des appareils Gramme du type normal, échelonnés par séries de 6. Cette disposition, que nous avons appliquée pour la première fois dans l'installation de l'Hippodrome, et qui est maintenant adoptée dans toutes les grandes usines électriques, permet de placer les dynamos les unes contre les autres et de les commander, au moyen de courroies d'inégales longueurs, par une seule poulie ou tambour, en laissant un libre accès aux balais et aux collecteurs.

Lorsqu'on s'est décidé à éclairer l'Hippodrome par l'électricité, il n'existait pas encore de bonnes dynamos en dehors du type normal ; on a donc dû utiliser ce type d'une manière exclusive. Si l'installation était à refaire aujourd'hui, on remplacerait

facilement les 24 dynamos existantes par 2 ou 4 dynamos du type employé aux Magasins du Bon Marché, par exemple.

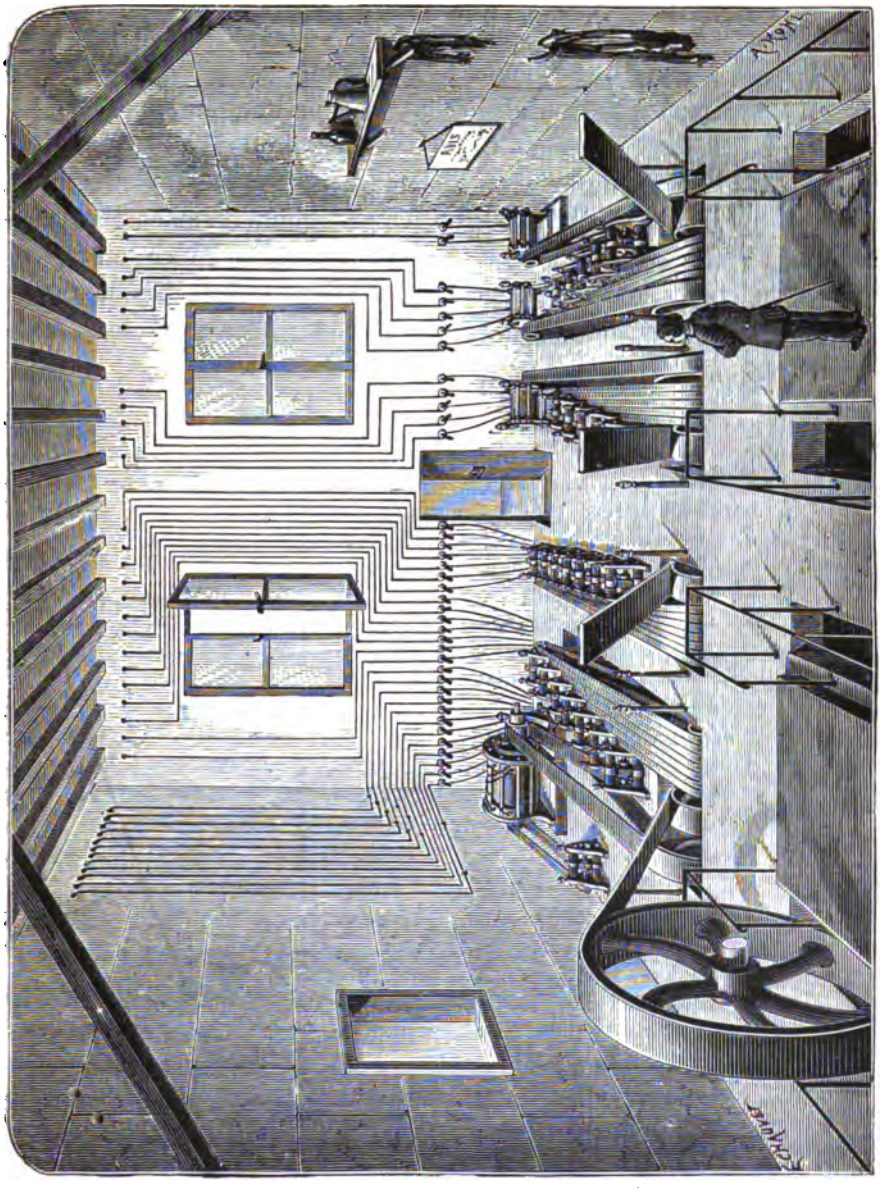


Fig. 301. — Salle des machines de l'Hippodrome.

Théâtre de Brünn (Moravie). — Le théâtre de Brünn est éclairé électriquement depuis 1882. Le matériel d éclairage comprend :

4 dynamos Édison capables d'alimenter chacune 250 lampes à incandescence de 16 bougies, une dynamo Gramme alimentant 5 régulateurs à arc de 100 becs carcels, une dynamo Gramme produisant les effets de scène par l'arc voltaïque ou alimentant 40 lampes Édison de 8 bougies.

Les dynamos Édison absorbent chacune une puissance de 30 chevaux, et les 2 dynamos Gramme ensemble de 6 à 8 chevaux. Comme le nombre de foyers à incandescence en service en même temps ne dépasse jamais 900, on n'a pas ajouté de machine électrique de secours ; l'éclairage pourrait à la rigueur être fait avec trois machines, en cas d'accident à l'une d'elles. Les lampes Édison installées sont au nombre de 1 384 ; elles sont ainsi distribuées :

Dépendances :		
Sous-sol	8	lampes.
Rez-de-chaussée, partie antérieure y compris le vestibule	118	—
Rez-de-chaussée, partie postérieure	10	—
Entresol, partie antérieure	18	—
— — postérieure	30	—
1er étage, partie antérieure, y compris le foyer.	79	—
— — postérieure —	10	—
2e étage	17	—
3e étage, partie antérieure, y compris le lustre du grand escalier	40	—
3e étage, partie postérieure	34	—
Amphithéâtre	5	—
Scène :		
6 herses de 101 lampes	606	—
Rampe de droite	71	—
Rampe de gauche	71	—
Deux portants fixes de 30 lampes	60	—
Quatre portants mobiles de 8 lampes	32	—
Salle :		
Orchestre	23	—
1re Galerie	22	—
2e Galerie	20	—
3e Galerie	21	—
Amphithéâtre	18	—
Lustre	56	—

Dessous (non réglables)	13 lampes.
Souffleur	2 —

Éclairage spécial des répétitions :

1 herse	15 —
Souffleur	2 —
Orchestre	23 —

La durée des lampes à incandescence est estimée à sept cents heures de service. La municipalité de Brünn paye pour l'éclairage une somme annuelle de 35 000 francs pendant vingt ans, après lesquels elle deviendra propriétaire de l'installation complète. Une moitié de cette somme représente l'intérêt et l'amortissement du capital engagé dans l'entreprise, et l'autre moitié les dépenses d'exploitation. Tout accident qui a pour conséquence une interruption de service entraîne une amende de 750 francs; pour l'extinction de 10 lampes par soirée, l'amende est de 12 fr. 50 et, en outre, pendant toute interruption partielle ou totale de l'éclairage électrique, les entrepreneurs doivent fournir un éclairage au moyen de lampes à huile.

Cette affaire a été traitée conjointement par la Compagnie Édison, de Paris, et MM. Bruckner, Ross et Cie, de Vienne. L'installation est une des plus complètes et des mieux réussies que nous connaissions. Aux conditions consenties à la municipalité de Brünn, les entrepreneurs ne doivent compter naturellement sur aucun bénéfice, trop heureux s'ils rentrent intégralement dans tous leurs débours.

Théâtre de la Scala à Milan. — Le célèbre théâtre de la Scala a été doté de l'éclairage électrique en 1883; il a, sur les deux précédents, l'avantage de ne pas avoir les moteurs et les dynamos dans ses dépendances. Le courant lui est fourni par la station centrale de Milan.

L'installation est entièrement réalisée au moyen de l'incandescence; elle comprend environ 2 570 lampes, dont 1 600 seulement fonctionnent en même temps dans les circonstances ordinaires.

La répartition de ces lampes a été faite de la manière suivante :

Scène :

9 herses	408	lampes.
Rampes	98	—
32 portants	264	—
6 projecteurs mobiles	90	—
12 rampes mobiles de 10 lampes	120	—
Lampes de réserve	126	—

Salle :

Lustre	344	—
Pourtour	253	—
Orchestre et couloirs des loges et galeries supérieures	209	—
Entrée, café, vestibule, etc	108	—
Entrée latérale, cours, atelier de décors, loges d'artistes, etc	550	—

Voici quelques détails sur le montage des lampes, la disposition des circuits secondaires et la durée des lampes, donnés à la « *Lumière électrique* » par le professeur R. Ferrini :

En général, les lampes qui sont fixes, comme celles du lustre, de l'orchestre, des couloirs, etc., ont été placées à l'extrémité des supports qui servaient pour l'éclairage au gaz, chacune à la place d'un bec de gaz.

Les lampes des services principaux (lustre, orchestre, rampe, scène, etc.) sont toutes de 16 bougies; celles des loges, des couloirs, des herses, sont de 10 bougies, et comme elles ont une différence de potentiel égale à celle des premières, on les met comme celles-ci en dérivation.

Les lampes qui sont placées sous le plancher de la scène et dans les endroits de moindre importance ont un pouvoir éclairant de 8 bougies et exigent une différence de potentiel qui est la moitié de celle des premières; elles sont, pour cette raison, montées deux par deux en série.

L'éclairage de la scène est fait avec des appareils fixes pour la rampe, et avec des appareils mobiles pour les portants et les herses. Pour les portants, on a des rangées verticales de lampes qu'on place derrière les coulisses. Pour les herses, on a des

rangées horizontales de lampes masquées pour la salle et s'étendant ou en haut de la scène ou tout le long du plancher de la scène. Ces herses sont constituées par de longues planches de bois sur le côté desquelles on fixe les lampes à des intervalles réguliers. La partie des herses portant les lampes est peinte en blanc et fait réflecteur. Les portants sont de même de longues planches en bois qu'on place derrière les coulisses et qui supportent les lampes Édison au moyen de petites appliques en métal, recourbées vers le sol. A côté des portants, il y a une tige en fer verticale glissant sur une faible longueur dans un système d'anneaux qui la guident.

A la hauteur de chaque lampe, partent de la tige des appliques supportant des enveloppes cylindriques en tôle ou en verre coloré ou opalisé d'une dimension suffisante pour contenir aisément les petites lampes. Quand la tige est abaissée, lesdites enveloppes se trouvent alignées avec les lampes et alternées avec celles-ci dans les intervalles qui les séparent; si on soulève la tige, les enveloppes entourent plus ou moins et même complètement chaque lampe.

Par cet artifice, on peut masquer tout à coup la lumière des lampes d'un des portants, l'atténuer ou la colorer au moyen de verres opalisés ou de couleurs qui peuvent produire à volonté les teintes rouges, bleues, etc., nécessaires aux effets de scène.

Les lampes d'un appareil mobile ou d'un appareil fixe (rampe, lustre, orchestre, couloirs, etc.) sont placées sur autant de circuits dérivés qui partent de prises respectives et ont un régulateur pour chacun. Naturellement, le nombre des appareils mobiles change d'un moment à l'autre. Tantôt on exige un éclairage éclatant, tantôt une obscurité presque complète; il importe donc, surtout pour les herses inférieures, qu'on puisse avoir un moyen facile et prompt d'ajouter ou d'enlever un de ces appareils, lorsque cela est nécessaire. A cet effet, une partie des circuits destinés à alimenter les appareils mobiles aboutit aux galeries de service où se tiennent les mécaniciens; les autres, placés sous le plancher de la scène, sont pourvus, à leur extrémité, de raccords métalliques. Ces circuits, qui comprennent toujours les fils d'aller et de retour, sont soigneusement isolés et protégés

par une couverture de bois. Ils sont, en outre, pourvus d'un appareil de sûreté constitué par un fil fusible de plomb, afin de prévenir tout danger d'incendie. Dans les raccords métalliques dont il est fait mention plus haut, on réunit les extrémités de chacun des conducteurs flexibles au moyen de deux fils de cuivre tressés et revêtus séparément d'enveloppes isolantes. Le tout est renfermé dans une gaine en caoutchouc. Ces conducteurs flexibles, dont on a une provision de différentes longueurs pour subvenir à tous les besoins, servent à réunir les circuits de distribution avec les appareils mobiles. La jonction d'un conducteur flexible avec la pièce de raccord d'un des circuits, d'une part, et l'appareil mobile, de l'autre, se fait en les introduisant l'un dans l'autre.

Une des pièces à réunir est terminée par deux cylindres de cuivre de différents diamètres, placés consécutivement sur le même axe, le plus étroit en dehors. L'autre pièce se termine, au contraire, par une cavité métallique de forme et de dimensions correspondantes à l'ensemble des deux cylindres, de manière que la partie vide soit exactement remplie. Une fois les cylindres engagés dans la cavité de l'autre pièce, on en assure l'adhérence avec un collier à vis. Les conducteurs flexibles, qui portent à un bout la première, et, à l'autre, la seconde de ces pièces de raccord, sont d'égale dimension pour toutes les pièces, de manière que n'importe quel conducteur mobile puisse s'adapter sur la pièce de n'importe quel circuit, d'une part, et avec n'importe quelle herse ou portant, de l'autre.

Les superficies convexes des deux cylindres sont isolées l'une de l'autre, et, quand elles se trouvent engagées dans une cavité, forment respectivement contact avec les parois de différents diamètres de celles-ci, lesquelles sont également isolées entre elles. Les cylindres massifs et les parties plus larges des cavités communiquent avec le fil d'aller, et les plus étroites avec celui de retour du courant. De cette façon, les manœuvres de changement, de déplacement, d'ajustement et de suppression des appareils mobiles se font en peu de minutes, avec toute facilité.

Pendant les premières années d'exploitation, les lampes ne

furent pas portées à leur intensité maxima, ce qui leur assura une très grande durée. M. Ferrini a, en effet, constaté une durée moyenne de 2 500 heures pour les lampes de la scène, et de 3 400 pour celles du lustre.

Nous ignorons si ce régime n'a pas été modifié; mais nous croyons, si les choses sont restées en l'état, qu'il serait préférable de pousser les lampes à leur intensité normale, sauf à en diminuer le nombre, si l'éclairage actuel est suffisant. La lumière sera plus blanche, et, tout compte fait, son prix de revient moins élevé.

Opéra de Paris. — A la suite d'une série d'expériences, qui furent plus ou moins réussies, suivant que M. Garnier autorisait ou n'autorisait pas l'installation de bons moteurs dans les sous-sols du monument, l'éclairage électrique complet de l'Opéra fut décidé, et l'entreprise en fut confiée à la Société Continentale Édison.

Les 7 455 becs de gaz, qui constituaient l'ensemble de l'ancien éclairage furent tous supprimés et remplacés par 6 131 lampes à incandescence, ainsi réparties :

Administration	1 165 lampes de 10 bougies	et	40 lampes de 16 bougies.	
Scène.....	1 568	—	120	—
Salle et pavillon	1 212	—	306	—
Foyer et escalier	1 010	—	642	—
Caves.....	68	—	»	—
Totaux.....	5 023 lampes de 10 bougies		1 108 lampes de 16 bougies.	

En outre de ces 6 131 lampes, l'éclairage comprend 22 bougies Jablochkoff pour le péristyle du théâtre et le plafond du grand escalier, et 8 régulateurs pour la loggia.

Matériel mécanique. — Six générateurs tubulaires, pouvant produire 10 350 kilog. de vapeur, alimentent :

1 machine Corliss de 250 chevaux tournant à 60 tours,
1 machine Armington de 100 chevaux tournant à 300 tours,
4 machines Weyher et Richemond de 140 chevaux tournant à 160 tours,
1 machine Weyher et Richemond de 40 chevaux tournant à 85 tours,
1 — — 20 — 100 — .

On dispose donc d'une puissance mécanique nominale de 970 chevaux, pouvant facilement être portée à 1 200 chevaux quand l'ensemble des dynamos est nécessaire à l'éclairage.

La cheminée a 1 m. 300 de diamètre et 39 mètres de hauteur. Elle est placée dans une cour intérieure qui la rend complètement invisible.

Les chaudières, du système Belleville, produisent de la vapeur à 12 kilog. de pression. Comme elles sont situées à 60 mètres des machines, on a dû installer une canalisation toute spéciale pour éviter toute cause d'arrêt. A cet effet, on a réuni au centre tous les conduits de vapeur partant des chaudières de façon à former une véritable boucle se fermant sur les chaudières. On peut diriger la vapeur par la conduite de droite ou par celle de gauche, ou dans les deux à la fois et remédier à une avarie se produisant à l'une d'elles.

L'eau nécessaire à la condensation est fournie en partie par la Compagnie des Eaux et extraite en partie d'un puits foré à 39 mètres de profondeur et complètement isolé, au moyen de tubes concentriques, des nappes d'infiltration du ruisseau de la Grange-Batelière. Le débit de ce puits atteint 60 mètres cubes à l'heure avec une dénivellation de 6 mètres. L'élévation de l'eau est obtenue par une pompe centrifuge placée au niveau statique de l'eau et actionnée par une transmission électrique. Les 4 machines à vapeur verticales, de 140 chevaux, genre compound, sont bien étudiées et bien construites; elles méritent une mention toute spéciale.

Un bâti robuste porte à sa partie supérieure les deux cylindres et à sa partie inférieure l'arbre à deux manivelles à 90° l'une de l'autre. Ce bâti est disposé de telle sorte que tout le devant de la machine est ouvert et accessible. Les cylindres et le réservoir intermédiaire sont enveloppés de vapeur arrivant directement des chaudières; les distributeurs sont cylindriques, équilibrés, et leur étanchéité est bien assurée. Le condenseur et les pompes à air sont du même système que ceux des machines horizontales de la maison Weyher et Richemond, seulement ils sont actionnés par un moteur adapté sur le flanc même des pompes à air.

Le régulateur de vitesse est composé d'un volant-poulie creux renfermant des masses écartées par la force centrifuge et retenues par des ressorts puissants.

Chaque machine de 140 chevaux actionne une dynamo de 800 ampères.

On a ainsi quatre groupes pouvant alimenter 1 000 lampes chacun et pouvant fonctionner séparément ou simultanément.

Matériel électrique. — Ces moteurs actionnent 14 dynamos, dont 13 à courant continu et une à courants alternatifs.

Les dynamos à courant continu peuvent produire une intensité totale de 6 015 ampères sous 120 volts; elles se décomposent comme suit :

5 dynamos Édison de 375 ampères.....				1 875	ampères.
4	—	800	—	3 200	—
3	—	300	—	900	—
1	—	40	—	40	—
		Total.....		6 015	ampères.

L'ensemble des courants correspond ainsi à une puissance électrique de 6015 × 120 = 72 180 watts, environ 960 chevaux.

En supposant un rendement industriel de 0,85, on trouve que, pour assurer cette production totale de courant, il faut une puissance mécanique de 1 130 chevaux.

Nous avons représenté page 225 la dynamo Édison de 800 ampères qui a été étudiée en vue de l'installation de l'Opéra; quatre de ces dynamos fonctionnent depuis dix-huit mois dans d'excellentes conditions.

Le courant des dynamos est amené à un premier tableau de distribution de 4 mètres de largeur sur 1 mètre de hauteur. Au-dessus et au dessous de ce tableau sont placées quatre grandes barres de cuivre qui le relient à deux autres tableaux de distribution de 3^m 50 sur 1^m 10 desservant les circuits du théâtre.

A l'aide de commutateurs en forme de verrous, on peut envoyer le courant des dynamos dans les barres du haut ou dans celles du bas. On réunit, en général, en quantité les dynamos de 500 lampes sur les barres du haut, et les dynamos de 1 000 lampes

sur les barres du bas; de cette façon, les dynamos de 500 lampes et les dynamos de 1 000 lampes sont indépendantes, ce qui, en cas d'avarie aux moteurs, n'occasionnerait qu'une extinction partielle. Cependant, on peut relier en quantité les quatre barres, et, par conséquent, les deux tableaux de distribution des circuits, ce qui permet de les alimenter soit à la fois avec les dynamos de 500 lampes et avec les dynamos de 1 000 lampes, soit avec les unes ou les autres séparément.

Les résistances des régulateurs de champ magnétique sont montées sur des cadres en partie garnis d'isolateurs en porcelaine, placés perpendiculairement au mur. Un arbre de 4 mètres de long, maintenu par des bagues sur les cadres en question, supporte les manettes de chaque régulateur. Celles-ci portent un encliquetage permettant de les embrayer à volonté sur une roue calée sur l'arbre. Un seul homme suffit pour manœuvrer les manettes de tous les régulateurs et régler la différence de potentiel aux bornes de toutes les dynamos comprises dans l'installation.

Traité passé entre l'État et la Société Édison. — Voici les bases du traité intervenu entre M. Goblet, alors Ministre des Beaux-Arts, et la Société Édison pour l'éclairage électrique de l'Opéra.

L'État concède à la Société Édison le droit d'établir, dans les bâtiments de l'Académie nationale de musique, les appareils nécessaires à l'éclairage électrique de toutes les parties du théâtre, et il s'engage à faire accepter cette concession par les directeurs actuels et futurs de l'Opéra.

La Société Édison prend entièrement à sa charge tous les frais d'installation comprenant: machines, chaudières, cheminées, dynamos, conducteurs, lampes, accumulateurs, etc., etc., et accepte d'exécuter les travaux complets sous la direction de l'architecte, sans toucher au système actuel d'éclairage au gaz dont toute la canalisation sera maintenue. Les lampes à incandescence seront, autant que possible, placées sur les appareils existants. Dans le cas où un appareillage spécial serait jugé utile, il sera exécuté aux frais de l'État.

Après l'achèvement de l'installation, aucun appareil ne pourra être déplacé sans l'autorisation de l'architecte, excepté

pour la partie scénique, que la direction restera maîtresse absolue de modifier à son gré. A cet effet, la Société Édison sera toujours à l'entière disposition des directeurs pour apporter, dans le plus bref délai possible, les modifications jugées nécessaires, autant qu'elles pourront être exécutées à l'aide des ressources des appareils Édison existant à l'Opéra, et du personnel technique spécialement attaché à ce théâtre.

Les générateurs à vapeur devront être du système Belleville ou équivalents ; ils seront munis de fumivores d'un fonctionnement parfait. Si ces fumivores n'étaient pas établis d'après les derniers perfectionnements, le traité pourrait être résilié par l'État, à moins que la société Édison ne consentît à remplacer les machines à vapeur par des machines à gaz.

Les dynamos prêtes à fonctionner devront être capables de fournir 40 pour cent de plus d'électricité que l'éclairage total du théâtre n'en exige.

Les conducteurs seront enveloppés de matière isolante sur tout leur parcours et ils seront placés dans des moulures en bois partout où il y aura lieu de les protéger. Les prises de contact des pièces mobiles seront cachées par des couvercles, afin de ne pouvoir être touchées par des personnes étrangères au service. Chaque partie de l'installation sera desservie par autant de circuits distincts que besoin sera pour empêcher une interruption complète d'une partie quelconque de l'éclairage.

Une partie de l'éclairage des couloirs et de la salle devra être obtenue par une installation électrique entièrement indépendante de l'installation principale, au moyen d'accumulateurs.

La Société Édison fournira un personnel technique complet pour assurer le fonctionnement normal de l'éclairage. Ce personnel devra être payé par la direction de l'Opéra. Une somme de 25 000 francs par an est prévue pour assurer l'exécution de cette clause.

La Société Édison payera tous les frais d'exploitation et recevra 1 130 francs pour chaque représentation théâtrale et 2 000 francs pour chaque bal.

Le prix de 1 130 francs correspond à un éclairage total

de 5 018 lampes de 10 bougies, 888 lampes de 16 bougies, 8 régulateurs Pieper et 12 foyers Jablochkoff.

Cet éclairage sera toujours à la disposition de l'Opéra si les ordres sont donnés au moins 4 heures d'avance. Le traité aura une durée de 10 ans à partir de la réception de l'installation. Il pourra être résilié en cas d'une extinction totale pendant la représentation, renouvelée deux fois dans le même mois.

Si, à l'expiration des 10 ans, le nombre total des représentations n'a pas été 1 920 au moins, le traité sera prorogé jusqu'à ce que ce chiffre soit atteint.

Après la première période de 10 ans, l'État aura le droit d'imposer à la Société Édison la continuation de l'éclairage pour une pareille durée et aux mêmes conditions, en prévenant ladite société au moins une année d'avance.

L'article 14 du traité mérite d'être reproduit en entier; il est le seul qui oblige la société concessionnaire sans aucune réciprocité de l'État; le seul que nous eussions énergiquement refusé; le voici :

« La Société Édison se conformera à tous les arrêtés, prescriptions ou ordonnances de Police relatifs à l'éclairage et aux mesures d'ordre et de sécurité.

« Elle acquittera toutes les redevances de Ville et de Police qui pourraient être imposées par la Ville ou par l'État, en raison de l'éclairage par l'électricité. »

CHAPITRE XXI

STATIONS CENTRALES

Considérations générales sur les stations centrales. — Les stations centrales ont d'abord été établies aux États-Unis, et elles s'y sont développées d'autant plus rapidement et avec d'autant plus d'avantages que le prix du gaz était généralement élevé dans toutes les grandes cités. En Europe, elles ont fait leur apparition tardivement et sont loin d'avoir, jusqu'à présent, réalisé les espérances de leurs promoteurs. Ce n'est guère qu'en France, en Allemagne et en Italie qu'elles poursuivent leur cours normal, et, même dans ces pays, leur situation financière est généralement peu prospère. Il est certain que cette situation ira sans cesse en s'améliorant, mais nous croyons qu'il faudra attendre longtemps encore pour voir la nouvelle industrie entrer résolument en lutte avec le gaz et obtenir le succès que les qualités exceptionnelles de l'éclairage électrique doivent lui assurer dans l'avenir.

Les stations centrales sont, à égalité d'intensité lumineuse, plus coûteuses à installer que les usines privées : elles exigent, en effet, un local approprié dans un rayon commercial où le terrain se vend très cher, une dépense première très importante pour l'acquisition et la pose de la canalisation, une main-d'œuvre et une surveillance d'autant plus onéreuses que le nombre de clients est plus grand, eu égard à la capacité de l'usine, etc.

Comme l'a très bien fait observer M. Schilling dans une récente brochure, l'avantage capital par lequel les établissements privés l'emportent sur les stations centrales, c'est qu'ils permettent d'utiliser le matériel dans de meilleures conditions.

Un établissement privé peut, en effet, recevoir de prime abord une importance proportionnée au nombre de lampes dont on a besoin et n'être utilisé que pendant le temps strictement nécessaire. Au contraire, les stations centrales sont établies, au début, pour un nombre de lampes plus considérable que celui dont on a réellement besoin. Premier inconvénient, le matériel en service est plus considérable que ne l'exigent les besoins actuels. Et, comme il est rare que, pendant la période d'exploitation, tous les clients à la fois aient besoin d'avoir toutes leurs lampes allumées, on n'utilise que d'une manière incomplète les services que peuvent rendre les appareils.

On a relevé à Boston la consommation des abonnés pendant vingt-quatre heures, à différents jours de la semaine, et l'on en a dressé des diagrammes. Il résulte de la lecture de ces diagrammes que, à l'exception de la période qui va de deux à trois heures, et même de quatre à sept heures, l'établissement ne fonctionne jamais d'une manière complète.

Dans le courant de la semaine, la consommation totale équivaut à peine au tiers de ce que peuvent fournir les machines et, le dimanche, elle n'en atteint pas le dixième. De une à sept heures du matin, la courbe qui correspond à 250 ampères est presque en ligne droite. Vers sept heures et demie, elle se relève, par suite de la mise en marche des appareils dynamiques, et, jusqu'à midi, elle se maintient dans le voisinage de 450 ampères. A l'heure du déjeuner, la courbe redescend légèrement à 400 ampères. Puis elle remonte uniformément de une à trois heures et demie ; ensuite, elle remonte, en se rapprochant assez sensiblement de la verticale, de 650 à 1 900 ampères environ et, à six heures quinze, elle redescend à 1 350 ampères. Ce chiffre marque la fermeture des magasins et l'heure du souper. De sept à huit heures, la courbe de consommation remonte à 1 450 ampères et redescend ensuite, de huit heures et demie à minuit, jusqu'au chiffre minimum de 200 ampères. Ainsi donc, pendant dix-huit heures sur vingt-quatre, l'établissement central reste inutilisé dans une proportion minima qui va de la moitié aux deux tiers.

Pour obtenir des adhésions en assez grand nombre, les sta-

tions doivent vendre la lumière aux même prix que les sociétés gazières, et c'est en cela que résident les difficultés qu'elles éprouvent pour se développer en Europe. Dans les grands centres industriels où les besoins d'éclairage sont relativement considérables, les usines à gaz ont un outillage perfectionné et une organisation qui leur permettent de produire le gaz à un prix extrêmement minime et de tirer un excellent parti des sous-produits; aussi réalisent-elles pour la plupart de grands bénéfices annuels. Si ces usines se trouvent menacées dans leur fonctionnement normal, elles baissent leur prix et servent encore de beaux dividendes à leurs actionnaires, tandis qu'une station centrale d'électricité, montée en vue de vendre la lumière à un prix rémunérateur, se trouve forcément amenée à équilibrer ses frais avec ses recettes et même à dépenser plus qu'elle ne reçoit.

Nous pouvons citer comme exemple la ville de Dijon, dont les habitants payaient depuis longtemps le mètre cube de gaz 0 fr. 45. Ce prix élevé tenta un ingénieur électricien, qui réunit les fonds nécessaires et établit une petite station centrale d'électricité pour l'éclairage des quartiers centraux. Mais, à peine son projet fut-il connu, que la Compagnie du gaz réduisit son prix à 0 fr. 25 le mètre cube et si elle ne fit pas avorter la combinaison, elle en rendit le résultat financier déplorable.

Ajoutons que l'exploitation des stations centrales laisse beaucoup à désirer en Europe : on utilise mal le matériel et les employés ; les frais généraux sont exagérés ; la clientèle ne reçoit pas toujours les satisfactions qu'elle est en droit d'exiger; les extinctions, bien que de moins en moins fréquentes, se renouvellent encore quelquefois, etc., etc.

Le Conseil de surveillance des Établissements électriques de Berlin relève une partie de ces faits dans son dernier rapport aux actionnaires :

« Si l'industrie de l'éclairage électrique, dit-il, ne donne pas de bénéfices nets, la raison de ce fait n'est pas dans le prix élevé des procédés de production; mais elle provient de ce qu'on ne connaît qu'imparfaitement, en entreprenant cette industrie, le moyen de l'exploiter dans des conditions économiques; de ce qu'on n'utilise qu'imparfaitement les installations existantes ; de

ce qu'enfin, les frais généraux viennent grever d'une façon désastreuse les dépenses de production et d'installation qui, sans cela, seraient relativement minimes. »

A notre avis, les électriciens restent trop exclusivement sur le terrain économique et ne font pas assez valoir les avantages multiples de leur système d'éclairage. Nous savons bien que les commerçants se contentent souvent d'une installation détestable et hésitent à la modifier lorsqu'ils n'y trouvent pas un avantage pécuniaire quelconque; mais, en faisant valoir la possibilité d'une amélioration dans la santé des consommateurs et dans la conservation des peintures, etc., on arrive, à la longue, à convaincre les plus récalcitrants.

Il en est de l'industrie des stations centrales européennes comme de beaucoup d'autres grandes industries qui ruinent leurs promoteurs et enrichissent ceux qui viennent ensuite. Pour faire apprécier les qualités hygiéniques de l'éclairage électrique et sa grande sécurité, il faudra sans doute multiplier les applications et, par suite, les déceptions de leurs entrepreneurs; mais le moment viendra où l'on ne parlera plus de payer au même prix l'éclairage à l'électricité et l'éclairage au gaz, pas plus qu'on ne demande à payer la soie le même prix que le coton, sous prétexte qu'ils peuvent servir aux mêmes usages.

A ce moment l'électricité pénétrera partout, et le rôle du gaz consistera surtout à produire de la chaleur et du travail mécanique.

L'exemple que nous fournissent les États-Unis est bien fait pour nous donner une confiance absolue dans le brillant avenir promis à l'éclairage électrique.

Stations centrales aux États-Unis. — Lorqu'en 1876 nous exposâmes à Philadelphie, au nom de la Société Gramme, une série de dynamos et de régulateurs, et que nous fîmes des expériences publiques avec ces appareils, la lumière électrique, si l'on excepte quelques projections théâtrales obtenues par la pile Bunsen, n'existait pas aux États-Unis. Aussi nos expériences excitèrent-elles un véritable enthousiasme; tout notre matériel fut acheté par le gouvernement pour être mis à la disposition des professeurs

et des ingénieurs, et de nombreuses commandes nous parvinrent de tous les points de l'Amérique.

Quelques années plus tard, les procédés de MM. Brush, Édison, Maxim et Weston, pour ne citer que les inventeurs les plus célèbres, en même temps qu'ils se répandaient aux États-Unis, vinrent, à leur tour, étonner l'Europe par leur originalité, leur diversité et leur réalisation essentiellement pratique.

Il existe aujourd'hui aux États-Unis plusieurs centaines de grandes installations d'éclairage électrique, utilisant la puissance mécanique d'environ 250 000 chevaux et alimentant près de 150 000 régulateurs et 600 000 lampes à incandescence.

Ce rapide développement, au delà de l'Océan, d'une industrie qui s'acclimate si lentement en Europe, tient à l'esprit d'initiative des habitants, à la cherté du gaz d'éclairage et surtout aux facilités que les promoteurs trouvent auprès des municipalités.

Quatre sociétés de construction de matériel électrique ont une importance exceptionnelle : la Société Brush qui emploie tout spécialement des régulateurs à arc, la Société Édison qui a la spécialité de l'incandescence, la Société Weston-Maxim qui emploie les deux systèmes et la Société Thomson-Houston qui exploite avec un très grand succès les dynamos à intensité constante, précédemment décrites.

Comme exemples de stations centrales aux États-Unis, nous donnons, d'après M. Eugène Martin, qui a été puiser ses renseignements sur place, quelques détails sur l'éclairage de la ville de Détroit et sur les stations Édison de New-York.

Éclairage public de la ville de Détroit. — Cette ville compte 200 000 habitants. En dehors du quartier central où sont groupés les bâtiments publics et les établissements de quelque importance, elle est formée de maisons en bois, à un étage au plus, rangées de distance en distance sur des voies droites et très larges. La superficie est énorme; elle est de 21 milles carrés, soit à peu près 5,500 hectares.

L'éclairage public est exclusivement électrique. Il est fait en général par des régulateurs de 9 ampères 1/2 groupés sur des pylones en fer, et par des régulateurs isolés, de même puissance, montés sur des candélabres ordinaires, dans les quartiers où la hauteur des

bâtiments gêne la projection de la lumière. La plupart des pylones portent 4 régulateurs ; quelques-uns seulement en ont 6. Les premiers ont 150 pieds de hauteur, les seconds 175 ; soit respectivement 46 et 53 mètres. Il y a en tout 122 pylones portant ensemble 500 régulateurs, et 120 régulateurs isolés. Vers les extrémités de la ville, la distance d'un pylone à l'autre atteint 800 mètres ; dans ces conditions, l'éclairage est juste suffisant pour éviter l'obscurité au milieu. Tous les circuits, en fil de 5,15 mm. de diamètre, sont aériens et portés par des poteaux en bois. Leur longueur totale est de 400 kilomètres. La dépense totale d'installation s'est élevée à 1 500 000 francs.

Dans cette somme les pylones seuls sont compris pour plus de 500 000 francs.

La ville paye à forfait, par an, 114 500 dollars pour 526 foyers ; le complément, 94 foyers, est payé à raison de 0,75 dollar par foyer et par nuit, ce qui fait en totalité, par an, pour l'éclairage public 140 232 dollars, environ 700 000 francs.

En dehors du service municipal, il y a chez les particuliers l'équivalent de 400 foyers de 9 ampères 1/2 en foyers à arc de diverses grandeurs ou en lampes Bernstein de 75 bougies.

L'arc de 9 ampères 1/2 se paye, par mois :

pour 26 jours jusqu'à 8 heures du soir, 45 fr.

pour 26 jours jusqu'à 11 heures du soir, 55 fr.

pour 30 jours jusqu'à minuit, 65 fr.

pour 30 jours, toute la nuit, 112 fr. 50.

Des remises qui peuvent atteindre 15 0/0 au maximum sont faites aux consommateurs importants, pour payement comptant, avec des contrats d'un an au moins.

Le produit de l'éclairage privé atteint 250 000 francs. Le total des recettes pour l'éclairage total est donc de 950 000 francs.

Les dépenses annuelles s'élèvent à 575 000 fr. et se décomposent ainsi :

Combustible	125 000 fr.
Graissage et nettoyage	30 500
Crayons électriques	120 700
Frais divers	15 400
Amortissement et entretien	150 000
Personnel	133 400
Total	575 000 fr.

Le bénéfice annuel est de 375 000 fr. Il correspond à 25 pour cent du capital engagé dans cette brillante affaire.

Les pylones en fer supportant les régulateurs constituent une des parties les plus remarquables de l'installation. Ce sont des

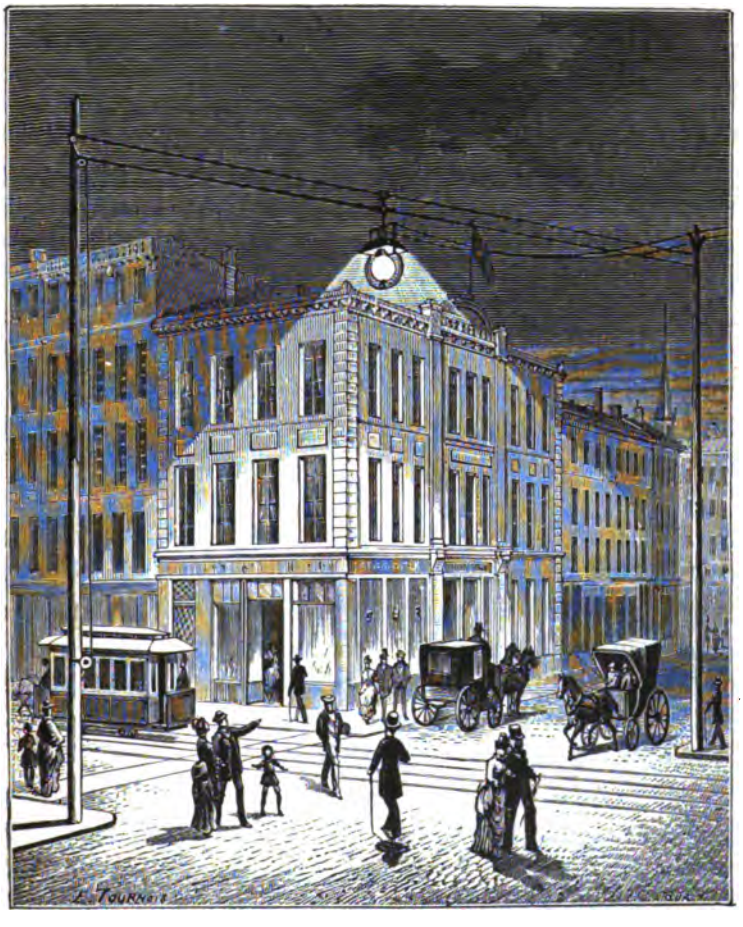


Fig. 302. — Éclairage public à Minneapolis.

prismes triangulaires d'une très grande légèreté, portés chacun par une colonne en fer creuse, d'environ $0^{m}25$ de diamètre et $3^{m}50$ de hauteur au-dessus du sol. Ces pylones qui ont, comme nous l'avons dit plus haut, les uns 46, les autres 53 mètres de hauteur, sont maintenus dans la position verticale par deux sé-

ries de haubans partant, la première, du sommet, et la seconde, du milieu de la hauteur, et venant s'attacher aux maisons ou à des massifs spéciaux. Les montants sont formés de tubes en fer assemblés bout à bout par des manchons; ils sont réunis deux à deux par un treillis d'une grande légèreté.

Le service des régulateurs se fait en haut. Un ascenseur à câble et contrepoids, placé à l'intérieur du prisme et manœuvré par les ouvriers eux-mêmes, leur permet de s'élever assez rapidement et sans grande fatigue au sommet des pylones.

A Minneapolis, les régulateurs, également du système Brush, sont suspendus entre deux poteaux de 18^{m} de hauteur, à l'intersection des rues, comme nous le représentons (Fig. 302). On peut facilement monter et descendre les régulateurs même pendant le service, pour le nettoyage et le renouvellement des charbons; il y a 225 régulateurs ainsi installés. La ville est en outre éclairée par une sorte de phare consistant en un mât tubulaire en fer de 85 mètres de haut muni de 8 régulateurs de 50 ampères chacun.

Stations Édison à New-York. — Les stations centrales établies avec le concours de la Société Édison américaine sont actuellement en pleine prospérité. Elles nécessitent suivant leur importance un capital variant entre 200 et 300 fr. par lampe de 16 bougies en fonction. Sur cette somme, 30 pour 100 sont prélevés pour droits de brevets, savoir 5 pour 100 en espèces et 25 pour 100 en actions.

Le tableau page 591 contient le résumé des dépenses moyennes à effectuer pour l'établissement de 5 stations différentes; nous l'avons établi sur des documents provenant directement de la Société Édison de New-York.

En général les stations de 1 000 à 2 000 lampes de 10 bougies, qui sont les plus répandues aux États-Unis, coûtent 250 francs par lampe et occasionnent une dépense annuelle de 35 francs par lampe sans compter l'amortissement. Le produit moyen d'une lampe est de 80 francs par an, laissant un bénéfice net de 15 francs (l'amortissement étant évalué à 8 pour 100 du capital engagé).

STATIONS CENTRALES AMÉRICAINES DE LA SOCIÉTÉ ÉDISON.

NUMÉROS DES STATIONS suivant leur importance.	1	2	3	4	5
Capacité de la station :					
Lampes de 10 bougies..	960	1 280	1 600	1 920	2 500
— de 16 bougies..	600	800	1 000	1 200	1 600
Nombre de lampes installées 10 bougies.....	1 200	1 500	2 000	2 400	3 200
Capital nécessaire.....	175 000	200 000	250 000	285 000	360 000
Valeur du matériel :	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Canalisation extérieure.	21 450 »	26 812,50	23 000 »	39 600 »	52 800 »
— intérieure.	14 520 »	18 150 »	25 000 »	29 700 »	39 600 »
Chaudières et pompes..	15 922,50	17 925,40	20 454,50	23 571,90	28 976,50
Machines à vapeur et transmissions.....	14 956,05	16 691,40	19 881,85	22 175,35	27 515,40
Dynamos.....	15 928 »	20 757 »	24 743,50	29 249 »	37 675 »
Appareillage.....	6 571,90	6 751,45	8 235,65	9 782,80	10 953,75
Compteurs.....	6 160,40	7 386,30	8 688,75	9 536,55	12 551,50
Outillage.....	2 183,70	2 183,95	2 183,70	2 183,70	2 183,70
Pièces de rechange.....	4 297,90	5 125,45	6 877,40	7 707,90	9 436,90
Projets et études.....	3 025 »	4 125 »	5 500 »	6 600 »	8 250 »
Total du matériel.....	105 015,45	125 907,55	154 565,35	180 107,20	229 942,75
Terrain.....	4 000 »	4 000 »	5 000 »	5 000 »	6 000 »
Bâtiments.....	10 000 »	10 000 »	12 500 »	12 500 »	12 500 »
30 pour 100 à la Société Édison :					
5 pour cent comptant.	8 750 »	10 000 »	12 500 »	14 250 »	18 000 »
25 pour cent en actions.	43 750 »	50 000 »	62 500 »	71 250 »	90 000 »
Solde en caisse.....	3 484,55	92,45	2 934,65	1 892,80	3 557,25
Total égal au capital.	175 000 »	200 000 »	250 000 »	285 000 »	360 000 »

Les deux stations Édison de New-York alimentent ensemble 13 000 lampes de 16 bougies. L'une, installée dans Pearl street, possède 11 000 lampes à elle seule; l'autre, installée dans Liberty street, n'en possède encore que 2 000, mais elle va être notablement agrandie. Cette dernière station n'a pas de chaudière, elle achète la vapeur à une société qui en produit une grande quantité et la vend, au compteur, pour toutes espèces d'usages, aux usines environnantes.

Le personnel des deux stations se compose de 31 personnes.

Les dépenses d'exploitation se sont ainsi réparties en 1886 :

Personnel	135 000 fr.
Houille 4 117 tonnes à 17 fr. 50 la tonne	72 047
Eau	6 435
Vapeur pour la 2e station à 0 fr. 37 les 100 kilog	21 000
Huile à graisser	9 500
Remplacement de 20 728 lampes	46 400
Entretien des conduites souterraines	48 665
Entretien du matériel, impôts, frais divers	58 435
Total	397 482 fr.

Cette dépense correspond à 30 fr. 57 par lampe de 16 bougies.

Nous n'avons pas eu de renseignements précis sur les recettes; mais nous savons que depuis deux ans elles laissent un certain bénéfice aux actionnaires, malgré l'importance exceptionnelle des capitaux engagés et les tâtonnements inévitables auxquels a donné lieu la première installation et dont l'entretien très élevé des conduites rappelle encore le souvenir.

Stations Thomson-Houston. — Le système Thomson-Houston que nous avons décrit, en détail, dans la seconde partie de cet ouvrage, a reçu de très nombreuses applications dans les grandes villes des États-Unis. Au 1er juillet 1886 il existait déjà 119 stations centrales comprenant 25 165 régulateurs à arc, et, depuis cette époque, leur nombre s'est considérablement accru.

Parmi les principales de ces stations, nous citerons celle de Boston qui alimente 590 régulateurs, celle de Providence qui en alimente 470, celle de Saint-Louis qui en alimente 500 et celle de Brooklyn, la plus importante du monde entier, qui entretient le courant dans 1 325 régulateurs à arc.

Progrès de l'incandescence aux États-Unis. — Au moment de mettre sous presse, nous recevons les renseignements suivants sur le nombre de lampes à *incandescence* en service aux États-Unis au 1er janvier 1888.

§ 1. — *Société Édison.* — Le 1er janvier il existait plus de 150 stations centrales et de 1 000 installations isolées, montées d'après ce système, qui renfermaient ensemble un million de lampes électriques. Les stations les plus importantes actuellement en construction sont celles de New-York, de Philadelphie, de Chicago et de Boston; leurs capacités varient de 20 000 à 40 000 lampes.

Au 1er mai dernier, le nombre de lampes installées s'élevait seulement à 527 474; le progrès réalisé pendant les neuf derniers mois est donc énorme. Citons, à titre de renseignement, la manière dont ces lampes se trouvaient réparties entre les divers genres d'installations. On comptait alors :

102 stations centrales avec...	290 300	lampes
13 éclairages publics avec...	6 500	—
891 installations isolées avec.	230 674	—

Ces dernières se subdivisaient elles-mêmes ainsi qu'il est indiqué ci-dessous :

	Installations.	Lampes.
Sociétés savantes, asiles publics, hopitaux..	46	17 676
Hôtels, maisons particulières et cercles....	51	24 082
Théâtres et concerts.....	21	16 474
Banques, bureaux, magasins.....	159	54 602
Imprimeries et journaux.....	45	10 062
Raffineries.....	18	6 672
Moulins.....	44	4 003
Filatures et tissages.....	131	39 371
Fabriques de papier.....	44	5 546
Huileries, usines de produits chimiques ...	56	8 658
Usines métallurgiques.....	67	12 960
Ateliers d'ébénisterie et de meubles.....	38	6 132
Usines diverses.....	102	14 036
Navires.....	69	10 400

§ 2. — *Sociétés diverses.* — Les autres compagnies de lumière n'arrivent pas à fournir des chiffres aussi élevés que les

précédents; elles donnent cependant des résultats très respectables, surtout si l'on songe qu'un certain nombre d'entre elles sont de formation toute récente et n'ont pas encore eu le temps matériellement nécessaire pour entrer dans la période d'exploitation normale. Elles fournissent ensemble 276 980 lampes, dont :

145 600 pour 172 stations centrales
et 131 380 pour 621 installations isolées,

qui se répartissent de la manière suivante entre les différentes Sociétés (ces chiffres sont établis au 1er novembre 1887):

SOCIÉTÉS.	NOMBRE d'installations isolées.	NOMBRE de STATIONS centrales.	NOMBRE DE LAMPES d'installations isolées.	NOMBRE DE LAMPES de STATIONS centrales.	NOMBRE DE LAMPES TOTAL.
United States C°.....	235	22	48 000	12 400	60 400
Thomson-Houston C°..	21	64	5 500	33 850	39 350
Westinghouse C°.....	51	51	19 400	84 000	103 400
Brush	44	11	11 010	4 600	15 610
Mather	80	2	20 200	1 100	21 300
Excelsior	5	1	1 300	250	1 550
Schaeffer	4	»	575	»	575
Van Depoële.....	3	»	220	»	220
Ball	3	»	800	»	800
Ft Wayne Jenny.....	5	2	1 300	1 200	2 500
Ind. Jenny	6	2	980	1 100	2 080
Thomas.....	2	1	250	500	750
Hecla.....	2	»	50	»	50
Schuyler	1	6	75	1 000	1 075
Heisler	»	8	»	3 000	3 000
Sawyer Man.....	155	1	20 620	1 800	22 420
House C°	4	1	1 100	800	1 900
	621	172	131 380	145 600	276 980

La Compagnie de beaucoup la plus importante est la Westinghouse C° dont cependant la création n'est pas ancienne ; au début de l'année 1887, elle ne comptait que 26 250 lampes à in-

candescence en service ; au 1er novembre elle avait quadruplé ce chiffre, ce qui permet de bien augurer de son avenir. On se rappelle que cette société exploite les brevets américains des transformateurs Gaulard et Gibbs.

Stations centrales en France. — *Éclairage du port du Havre.* — La première station centrale établie en France a une destination toute spéciale ; elle fournit l'éclairage permettant aux navires d'entrer dans le port du Havre la nuit, ce qui était matériellement impossible avant son installation. Le port du Havre est, comme on sait, un port de marée dans lequel les grands bâtiments ne peuvent entrer qu'à l'heure de la pleine mer. Aux époques où les deux marées ont lieu de jour, le navire qui manquait la première pouvait entrer à la seconde, tandis qu'aux époques où les marées sont l'une de jour et l'autre de nuit, quand le navire manquait la première, il lui fallait faire en rade une station qui durait quelquefois vingt-trois heures. La rade du Havre, qui est excellente en temps calme, est détestable, dangereuse même, lorsqu'il vente. Sur les instances des marins, l'administration a, dès 1880, décidé que le port serait éclairé à la lumière électrique et que les brûleurs seraient du système Jablochkoff.

Le contrat passé entre le ministre des travaux publics et l'ancienne société Jablochkoff mérite de fixer l'attention des entrepreneurs d'éclairage électrique.

En voici les principales clauses :

« Le port sera éclairé par 40 foyers, lesquels seront placés conformément aux indications fournies par les ingénieurs de la navigation.

« Les bougies devront être constituées par des crayons de 6 millimètres de diamètre, leur intensité, prise horizontalement à feu nu, devra être de 60 carcels au minimum.

« Chaque foyer sera payé 1 fr. 047 par heure.

« Moyennant ce prix, la Société concessionnaire prendra à sa charge : 1° la fourniture, la pose à ses risques et périls, l'entretien, les réparations et le remplacement au besoin de tout le matériel mécanique et électrique ; 2° la mise en marche, l'alimentation et le fonctionnement des machines, la manœuvre des

appareils, le nettoyage des lanternes et généralement toutes les dépenses que nécessitera l'éclairage électrique.

« Toute l'installation sera faite suivant les indications et sous la surveillance des ingénieurs.

« Les heures d'allumage et d'extinction seront fixées par l'administration.

« La durée du marché est fixée à dix ans. A l'expiration de cette période, tout le matériel d'éclairage électrique deviendra la propriété de l'État, sans répétition contre la Société concessionnaire. »

Inutile de dire que ce traité a été extrêmement onéreux à la Société Jablochkoff.

Les moteurs sont installés près de l'écluse des transatlantiques.

Deux machines demi-fixes de 35 chevaux chacune mettent en mouvement 4 dynamos auto-excitatrices Gramme de 16 foyers. Une de ces dynamos fonctionne à circuit ouvert; elle est destinée seulement à être employée dans le cas où il arriverait un accident à l'une des trois autres.

Toutes les manœuvres d'allumage et d'extinction se font de l'usine. Les conducteurs doubles, au nombre de 4, sortent ensemble et divergent ensuite vers les différents points qu'ils doivent desservir. Comme, en plusieurs points, ces conducteurs ont dû être placés à l'intérieur même des bassins ou sous les écluses, ils ont été protégés d'une façon toute spéciale contre les chocs. A cet effet ils sont enveloppés de chanvre, d'une torsade de fer galvanisé, puis d'une seconde couche de chanvre et enfin d'une composition très isolante appelée *composition Clarke*.

Aux endroits où les câbles sont reliés l'un à l'autre sous le sol, on les réunit par un serre-fil, puis ils sont placés dans des poteries remplies de brai et garnies extérieurement de ciment aggloméré. Ces poteries sont en outre protégées par un lit de paraffine non seulement contre les eaux, mais surtout contre les rats, très nombreux dans ces parages.

Depuis sa mise en marche l'usine a toujours fonctionné à l'entière satisfaction des ingénieurs du port et des navigateurs.

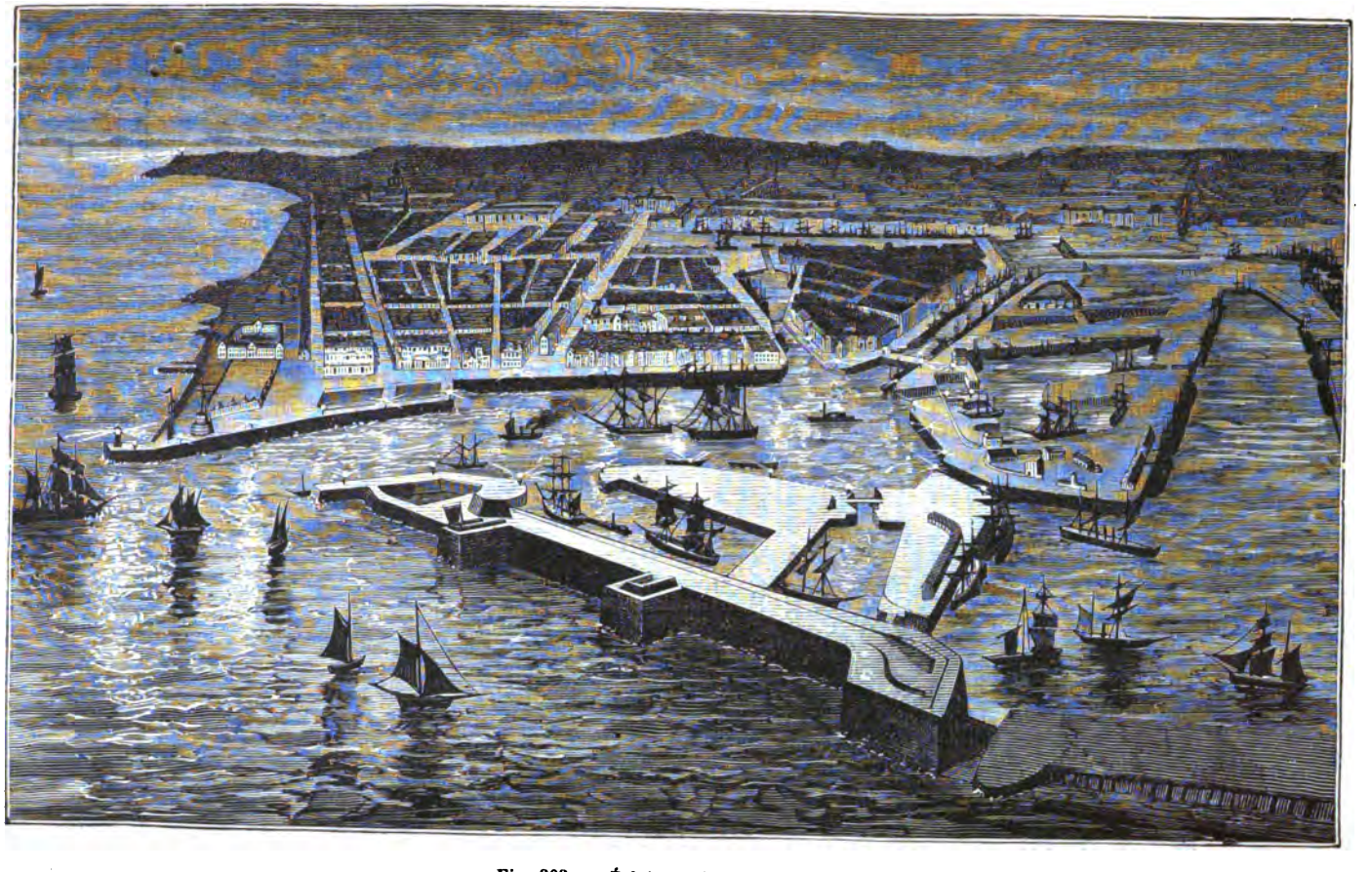


Fig. 303. — Éclairage du port du Havre.

La perte réelle subie par la société concessionnaire, sur son traité avec l'administration, peut être estimé à 50 000 francs.

Notre dessin (Fig. 303) donne une idée assez exacte de l'effet produit par l'éclairage électrique dans le port du Havre.

Station centrale de Saint-Étienne (Loire). — La Compagnie électrique Édison de Saint-Étienne fut fondée en mai 1885. Son usine, primitivement montée pour débiter 1100 ampères, fut inaugurée cinq mois après.

Elle s'est successivement développée et peut actuellement (janvier 1888) fournir 2 600 ampères.

L'éclairage est vendu au prix de 6 centimes la lampe-heure de 16 bougies. L'abonnement est fait au compteur. Chaque client paye, en outre du courant consommé, une somme fixe annuelle de 3 fr. 50 par lampe installée.

L'usine est située au centre même de la ville, dans une cour ayant 300 mètres carrés environ. L'espace restreint dont on disposait a conduit à adopter une disposition spéciale : les chaudières sont placées au niveau du sol et les murs qui les séparent servent de fondations aux moteurs. Ces murs, sous lesquels sont situés les carneaux de fumée, dépassent d'environ deux mètres le sommet des chaudières. De son côté, le mur de protection imposé par les règlements administratifs pour isoler les chaudières des propriétés voisines sert de fondation à une partie des dynamos.

Au niveau du sommet des murs contenant les carneaux est établi le plancher de la salle des machines. La transmission est installée dans l'espace de 2 mètres réservé entre le sommet des chaudières et le plancher de la salle des machines [1].

L'appareil générateur de vapeur est constitué par 4 chaudières à foyer intérieur, genre Farcot, de 90 mètres carrés de surface de chauffe, timbrées à 12 kilog. Le carneau collecteur des fumées se trouve à la base du mur de protection et aboutit à une cheminée de 45 mètres de hauteur située à l'angle de l'usine. Ces chaudières sont alimentées par deux injecteurs Kœrting indépendants et un petit cheval de secours. Un tuyau

[1] La circulation est très facile dans toutes les parties de l'usine, comme nous avons été à même de le constater récemment, M. Gramme et moi.

de fonte recueille toute la vapeur d'échappement, même celle que peuvent laisser échapper les soupapes de sûreté, et la rend à un *économiseur* tubulaire où s'échauffe l'eau d'alimentation. La tuyauterie est disposée de telle sorte que, en tournant une vanne, la vapeur d'échappement puisse se rendre dans la cheminée soit directement, soit en passant à travers l'économiseur. Les moteurs sont comme les chaudières au nombre de quatre. Ils sont compound en tandem et fonctionnent à haute pression, avec détente dans les deux cylindres. Les tiroirs sont rotatifs, du système Coffinal, avec détente variable à la main. Les cylindres ont 280 millimètres et 420 millimètres de diamètre et une course commune de 600 millimètres avec une introduction pouvant varier de 180 à 360 millimètres au petit cylindre. Les manivelles font 160 tours par minute. La consommation est d'environ 10 kilog. de vapeur par cheval, ce qui est un beau résultat, vu l'absence de condensation.

A la pression de 6 kilog., chaque moteur développe normalement de 70 à 75 chevaux effectifs (à 11 kilog. de pression, on peut obtenir 180 à 190 chevaux effectifs).

Les cylindres à vapeur sont à double enveloppe et, grâce à la surélévation des machines, on obtient un courant continu de vapeur dans ces enveloppes, avec retour de l'eau condensée à la chaudière; les refroidissements dus à la détente sont ainsi efficacement combattus, et les machines marchent toujours avec de la vapeur parfaitement sèche.

Les quatre moteurs sont munis chacun de deux volants-poulies aux extrémités de leurs arbres coudés. Les volants opposés au côté de la distribution commandent par courroies un arbre intermédiaire régnant, perpendiculairement à leurs axes, dans toute la longueur de la salle des moteurs. Cet arbre porte sept poulies qui commandent chacune une dynamo au moyen d'une courroie passant sous le plancher des moteurs. Pour réaliser cette disposition qui présente l'avantage de ne pas encombrer de courroies la salle des moteurs, la base des dynamos a dû être baissée de $1^{m},20$ au-dessous du plancher des moteurs, et l'accès des dynamos n'a pas été obstrué, grâce à de larges escaliers auxiliaires.

Les moteurs peuvent marcher isolément ou ensemble, suivant les besoins du service. A cet effet, chaque volant moteur des machines est réuni à un tronc d'arbre de transmission intermédiaire et attaque une poulie Piat de $0^m,900$. Chacun des tronçons porte en outre deux autres poulies Piat attaquant chacune une dynamo Édison. Toutes ces poulies sont à embrayages par friction et chaque tronçon d'arbre intermédiaire peut être réuni au voisin par des manchons à griffes. De cette manière, on assure à un très grand degré et à volonté la dépendance ou l'indépendance de chaque moteur et de chaque dynamo.

La distribution est à trois fils sous 225 à 230 volts au départ.

Les dynamos sont au nombre de sept. Le type primitivement adopté, lorsqu'il ne s'agissait que de la production de 1 100 ampères, était celui de 375 ampères et 120 volts; il a dû être maintenu lors de l'augmentation de l'usine afin de conserver aux machines l'uniformité dans leur débit et de pouvoir facilement les grouper en quantité. Posées sur des rails, ces machines se déplacent au moyen de vis, lorsqu'on veut tendre les courroies.

Le champ magnétique est créé par un groupe de trois électros de 2 colonnes, soit par 6 colonnes en tout. L'excitation est prise sur les câbles extrêmes de l'usine, elle se fait donc sous une différence de potentiel de 220 volts environ. Les six colonnes sont groupées en deux séries de trois, ces deux séries réunies en quantité. Chacune ayant 45 ohms, la résistance réduite de l'ensemble est 33,75 ohms, et le courant consommé est de $\frac{220}{33,75} = 6,5$ ampères environ. Le rendement en ampères est donc d'environ 94 pour 100.

L'induit est construit dans la forme habituelle des machines Édison. Sa résistance intérieure à froid est de 0,01 ohm seulement, d'où il résulte que la force électromotrice absorbée à l'intérieur de la machine est très faible et que le rendement total de la dynamo est très élevé.

La poulie de commande, qui est calée sur l'arbre de l'induit, est placée entre deux poulies, disposition éminemment favorable à la durée et à la bonne marche de la machine. Le courant est recueilli sur le collecteur par trois paires de balais. Des câbles,

partant des bornes, se rendent au tableau de distribution de chaque dynamo.

Les tableaux de groupement des dynamos sont conçus de telle sorte que n'importe quelle dynamo peut servir de rechange sur l'un ou sur l'autre des réseaux du système à trois conducteurs, sans qu'on ait à craindre la mise en court-circuit des dynamos ou leur mise en dérivation sous deux cents volts, et cela grâce à des dispositifs d'enclanchements des commutateurs brevetés par M. Ebel, directeur de la Compagnie électrique Édison de Saint-Étienne. Par ce système, toute inversion dans l'ordre prévu pour les manœuvres est rendu automatiquement impossible et la bonne conservation des producteurs ou des utilisateurs du courant électrique se trouve assuré.

Le réseau proprement dit sur lequel sont branchées les lampes a un développement total de près de 5 000 mètres. Il a été constitué par deux types de sections de conducteurs, suivant les charges et répartitions prévues.

L'un des types est fait par positif et négatif de 200 millimètres carrés de section avec intermédiaire de 140 millimètres carrés.

L'autre type est fait par positif et négatif de 140 millimètres carrés avec intermédiaire de 100 millimètres carrés de section.

L'ensemble des immobilisations pour immeubles, générateurs, moteurs, dynamos, tableaux, réseau et branchements a coûté approximativement 500 000 francs, somme moyennant laquelle on a pu installer environ 5 500 lampes et distribuer de la force motrice.

Les dépenses d'exploitation font ressortir à 0 fr. 0325 l'ampère-heure.

Elles se décomposent ainsi :

Main-d'œuvre	0 fr. 009
Combustible au prix moyen de 13 fr. les 1 000 kil.	0 01
Graissage	0 001
Entretien	0 0025
Frais généraux, eau, loyer	0 01
Prix de revient de l'ampère-heure	0 fr. 0325

Ces chiffres se rapportent à une production annuelle d'envi-

ron 1 500 000 ampères-heure pour un nombre moyen de 2 200 lampes en fonction.

Les chaudières, machines et transmissions sortent de la maison Biétrix et Cie, de Saint-Étienne. Toutes les dynamos et appareils électriques sortent des ateliers d'Ivry.

Station centrale de Bourganeuf. — Cette station, créée en 1885, alimente, en outre de 60 lanternes municipales, l'éclairage entier de la mairie avec 20 lampes, de l'église avec 7 lampes, des cafés, hôtels, magasins, etc., avec environ 100 lampes allumées. L'importance de cette station atteindra un jour, espère le concessionnaire, 300 lampes.

La puissance mécanique est produite par une roue à augets de 5 mètres de diamètre, faisant 6 tours par minute. La chute a 11 mètres de hauteur et un débit minimum de 250 litres par seconde. La dynamo est du système Thury à six pôles. Elle tourne à 450 tours par minute et donne en marche normale 180 ampères sous 110 volts.

La canalisation est aérienne, en fil de cuivre posé sur isolateurs; son développement, aller et retour, est de 3 500 mètres. Le câble principal a 850 mètres de longueur et 8, 5 millimètres de diamètre.

Les lampes sont du système Woodhouse et Rawson, type de 10 bougies. Aucun commutateur n'est installé ni même prévu : les lampes s'allument toutes à la mise en marche et s'éteignent à l'arrêt de la dynamo.

Station centrale de la Roche-sur-Foron (Haute-Savoie). — A la Roche-sur-Foron, l'éclairage public est obtenu par 20 lampes Édison et doit fonctionner tout l'hiver, de quatre heures du soir à sept heures du matin, et l'été aux heures déterminées par un règlement municipal. Le contrat a été passé pour une période de quarante ans. La lumière est payée par la ville à raison de 3 000 francs par an.

L'éclairage privé comprend actuellement 300 lampes à incandescence Édison de 8, 10, 16 et 32 bougies. Leur consommation ne se règle pas au moyen de compteurs qui, comme on le sait, sont souvent d'un emploi assez difficile ; elle est tarifée d'après la durée moyenne de l'éclairage par jour.

La force motrice de l'usine est prise par une turbine sur le Foron, petite rivière dont le débit variable a nécessité la construction d'un réservoir accumulateur de 1 200 mètres cubes; de la sorte, on a obtenu une hauteur de chute d'eau de 17 mètres entre le réservoir et la turbine. Celle-ci est du système Girard, à injection partielle et à arbre horizontal portant la poulie de commande de la dynamo; elle donne 45 chevaux effectifs; son distributeur obéit fort commodément à la main, au moyen d'un léger volant placé en face du voltmètre. Ce simple mode de réglage permet de modérer la tension à une fraction de volt près.

La machine dynamo est du système Thury; elle est à enroulement compound et supporte sans inconvénient les coups de collier, donnant, sans résistance dans le circuit dérivé inducteur, 105 volts à 600 tours, avec une seule lampe ou à vide, et 110 volts environ, lorsqu'elle marche dans des conditions normales et débite 150 ampères.

La conduite de distribution est constituée par un câble principal à section décroissante à partir de la machine et disposé suivant le système dit circuit compensé ou en fer à cheval, disposition qui permet d'obtenir une différence de potentiel constante entre les deux conducteurs, quelle que soit la perte de charge totale, laquelle est d'environ 20 volts pour un courant moyen de 150 ampères.

Le câble, de 4 000 mètres de développement, est nu et composé de fils de 3 millimètres; sa résistance est de 0,13 ohm jusqu'au milieu de la boucle, et sa section moyenne de 240 millimètres carrés. Ce câble est aérien et porté par des poteaux munis d'isolateurs. Presque toutes les dérivations sont en cuivre, recouvertes d'un isolant que protège une forte tresse de chanvre enduite ou une gaine de plomb; elles sont fixées sur des virolles en porcelaine et pourvues de coupe-circuits de sûreté et d'interrupteurs.

Stations centrales parisiennes. — Vers la fin de 1877, alors que le système Jablochkoff prenait son essor, les promoteurs de l'affaire obtinrent de la municipalité l'autorisation d'éclairer l'avenue de l'Opéra et les deux places qui la terminent. Cette

autorisation, renouvelable d'année en année, était accompagnée d'un traité par lequel la ville s'engageait à payer pour chaque foyer 0 fr. 30 par heure d'éclairage. L'installation fut assez rapidement faite; mais elle fut très onéreuse pour la Société Jablochkoff, car il lui fallut créer trois usines de force motrice — aucun emplacement suffisant pour y loger l'ensemble du matériel n'ayant été trouvé à proximité — et poser tous les câbles en sous-sol. L'éclairage, qui comprenait 82 foyers, eut un grand succès de curiosité et permit d'étudier sur une assez vaste échelle le mérite du nouveau brûleur. Les dépenses annuelles d'exploitation étaient supérieures d'environ 30 000 francs aux recettes; aussi, lorsqu'en 1882, les destinées de la Société Jablochkoff passèrent en nos mains, le premier acte de notre administration fut de laisser périmer le traité et de supprimer l'éclairage électrique qui, pendant plus de quatre ans, avait contribué à orner la plus belle des avenues de Paris.

L'éclairage électrique de la place du Carrousel, installé un peu plus tard, existe encore aujourd'hui. Il se compose de 12 candélabres, hauts de 8 mètres, supportant deux régulateurs de Mersanne, à charbons horizontaux et d'un grand pylone en fer de 20 mètres de hauteur, supportant deux régulateurs du même système.

L'usine qui alimente ces 14 foyers est placée dans un pavillon situé près des bâtiments de l'Administration des Postes, dans la cour des Tuileries. Elle comprend deux locomobiles de 40 chevaux, deux dynamos Lontin et deux dynamos Brush.

La ville paye pour chaque foyer-heure 0 fr. 40. Tous les frais d'exploitation sont à la charge du concessionnaire.

Plusieurs petites usines établies pour l'éclairage de la place de la Bastille, du Palais-Royal, de la place de la Madeleine et de divers autres emplacements n'ont eu qu'une durée éphémère.

De nombreux projets sont à l'étude pour doter les quartiers riches ou populeux de lumière électrique; le Conseil municipal a décidé la création d'une grande station aux Halles centrales; on parle beaucoup d'usines à établir au centre de chaque arrondissement, etc., etc.; mais jusqu'à ce jour il n'existe guère dans Paris que quatre ou cinq établissements qui vendent de

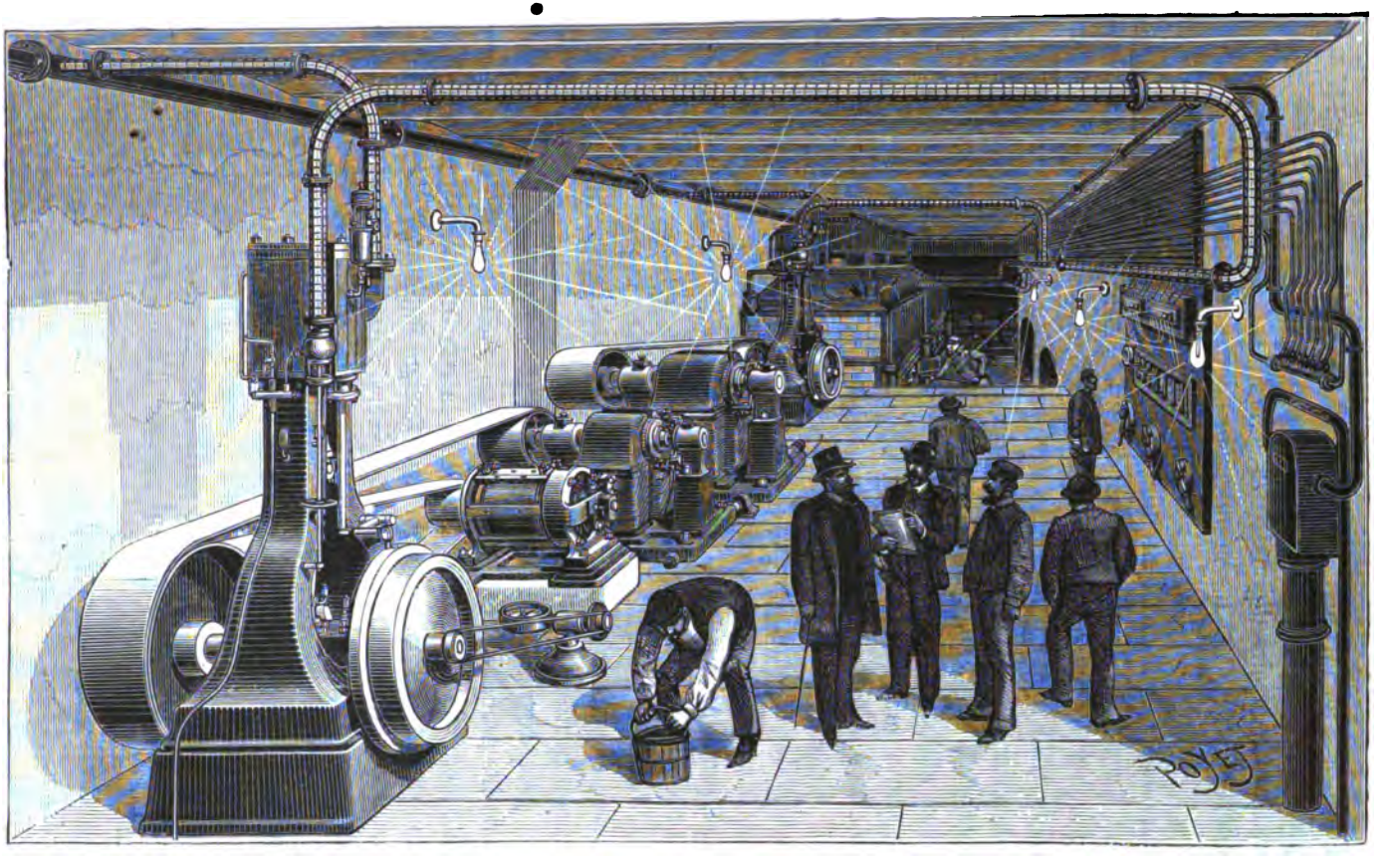


Fig. 304. — Station centrale des Panoramas.

l'éclairage électrique, et encore, peuvent-ils être considérés presque tous comme des embryons d'usines et non comme des stations centrales dignes de la capitale qui a vu naître les premières dynamos et les premiers brûleurs industriels.

Parmi ces stations naissantes, nous citerons celle des Panoramas et celle de la cité Bergère.

La station des Panoramas éclaire le théâtre des Variétés et quelques cafés environnants. Son matériel électrique et mécanique est installé dans une des caves de la rue Montmartre, dépendant de l'établissement de bains Philippe. L'ensemble comprend deux machines verticales à grande vitesse de 70 chevaux chacune, deux générateurs multitubulaires, trois dynamos Gramme dont deux à courant continu et une à courants alternatifs, et une forte batterie d'accumulateurs.

Cette petite usine, que nous représentons (Fig. 304), est capable de fournir, en marche normale, le courant à 1 500 lampes à incandescence de 10 bougies; elle a été commencée par M. Lippmann et achevée par la Société « l'Éclairage électrique » dont elle est aujourd'hui la propriété.

La station de la cité Bergère a été fondée par MM. Mildé et Clerc; elle paraît avoir un avenir assuré depuis que la Compagnie Édison participe à son exploitation.

Elle dessert actuellement environ 1 400 lampes réparties dans les premières maisons du faubourg Montmartre et dans le pâté compris entre ce faubourg et la rue Drouot, d'une part, le boulevard Montmartre et la rue Grange-Batelière, d'autre part. Les autres îlots se trouveront desservis au fur et à mesure des développements de la station.

Le matériel de l'usine se compose de 2 locomobiles de 60 chevaux et de 4 dynamos Gramme, type supérieur; il y a, en outre, 120 accumulateurs destinés, en cas d'accident, à remplacer l'une des dynamos, de telle sorte que le service des lampes se trouve toujours entièrement assuré. L'usine fonctionne jour et nuit.

Les conducteurs sont aériens; ils passent au-dessus des maisons et sont portés, au moyen d'isolateurs en porcelaine, par des poteaux fixés sur les toits; une bande de caoutchouc, placée

sur les fils, de chaque côté des isolateurs, assure un complet isolement. Les conducteurs principaux sont formés d'une tresse de fils de cuivre et présentent une section de 75 millimètres carrés, ce qui correspond à un fil électrique de 10 millimètres de diamètre.

La Compagnie fait payer l'installation suivant un tarif déterminé ou à forfait; dans ce dernier cas, le prix est de 25 francs par lampe.

La consommation du courant est tarifée à raison de 16 centimes par ampère-heure. Comme la Compagnie s'engage à fournir 33 bougies par ampère, ce taux remet le prix de la lampe-heure de 10 bougies à 4,8 centimes l'heure. A Paris le bec de gaz d'une carcel, consommant 120 litres à l'heure, coûte 3,6 centimes. La lumière électrique est donc seulement de 30 pour 100 plus chère que le gaz.

Chaque abonné paye un abonnement annuel de 4 francs par lampe pour frais d'entretien.

Les lampes usées sont à la charge des consommateurs; la Compagnie garantit une durée de 1 000 heures. Au besoin, elle se charge de remplacer à forfait les lampes usées à raison de 10 francs par lampe et par an. Cette clause ne s'applique naturellement qu'aux lampes dont le filament est rompu par le courant électrique lui-même. Les lampes à remplacer pour tout autre motif sont comptées 5 francs aux abonnés.

Station centrale de Tours. — La station centrale d'électricité inaugurée à Tours à la fin du mois de janvier 1886 est la première application des transformateurs Gaulard et Gibbs, exécutée en France. L'usine de Tours a une capacité de 3 500 lampes de 16 bougies; toutes ces lampes sont loin d'être en service. Nous allons indiquer les conditions dans lesquelles l'installation fonctionne actuellement.

La force motrice est fournie par deux machines à vapeur Weyher et Richemond, développant respectivement 100 et 150 chevaux.

Deux dynamos Siemens à courants alternatifs produisent le courant qui traverse les conducteurs principaux. Ce courant a une intensité de 66 ampères, et la différence de potentiel aux bornes,

qui doit rester constante, est de 850 volts. Ces dynamos sont excitées par deux machines Siemens à courant continu.

Deux réseaux différents partent de l'usine, établie sur la place du Palais-de-Justice, et suivent la rue Royale; chacun d'eux dessert un côté de cette rue et est alimenté par une dynamo de l'usine. Les conducteurs en cuivre ont un diamètre de 7,5 mm; ils sont isolés et renfermés dans une conduite en béton; celle-ci, dont la forme est celle d'un V, est placée sous les trottoirs de la rue. La longueur totale de chaque réseau, aller et retour, est de 1 700 mètres.

Ces conducteurs principaux amènent le courant à quatre groupes de transformateurs reliés au centre de la zone qu'ils ont à éclairer, et établis en quantité sur le circuit principal. Cette disposition permet d'effectuer la distribution dans les circuits secondaires sous un potentiel constant, quel que soit le nombre des lampes allumées. Il suffit alors à l'usine de maintenir constante la différence de potentiel aux bornes de la dynamo, ce qui peut s'obtenir par des moyens automatiques.

Chaque groupe de transformateurs se compose de quatre colonnes, construites suivant le système de MM. Gaulard et Gibbs et ayant leurs noyaux de fer conjugués deux à deux de façon à former un circuit magnétique fermé. Les circuits primaires des quatre colonnes sont associés en tension et absorbent 850 volts avec un courant de 16 ampères. Les circuits secondaires sont réunis en quantité, et fournissent un courant de 250 ampères sous 50 volts. Le rendement de l'appareil est donc voisin de 92 pour 100.

Les réseaux secondaires qui partent de chaque groupe de transformateurs et servent à alimenter les lampes sont formés de câbles de cuivre renfermant 19 brins de 2,4 mm. Ces câbles, placés sous terre pour toutes les maisons de la rue Royale, sont aériens pour les immeubles des rues adjacentes.

La longueur de chaque réseau secondaire ne dépasse guère 350 mètres.

Les lampes installées chez les abonnés sont de deux types différents : elles exigent 48 volts et donnent 10 et 16 bougies, suivant le nombre d'ampères qu'elles prennent. Elles sont toutes

placées en dérivation sur les bornes du circuit secondaire. Ces lampes sont du système Swan sur un réseau, du système Woodhouse et Rawson sur l'autre. On pourra ainsi comparer leurs avantages et leurs défauts respectifs.

Les abonnés payent leur éclairage à raison de 3 fr. 50 par mois et par lampe de 16 bougies; moyennant cette somme, ils ont droit à la lumière depuis la tombée de la nuit jusqu'à minuit et demi.

Stations centrales en Allemagne[1]. — C'est à Berlin que se trouvent les stations centrales les plus importantes de l'Allemagne. Ces stations sont exploitées par une Compagnie intitulée « Entreprise d'électricité de la ville de Berlin », fondée par la maison Siemens et Halske avec le concours de la Société continentale Édison. En 1884, le bourgmestre de Berlin accordait, pour une durée de trente ans, à la Compagnie, le privilège de poser en sous-sol dans une circonscription de la ville intérieure, embrassant un périmètre circulaire de 800 mètres de rayon, des conduites destinées à transmettre l'électricité fournie par un ou plusieurs établissements centraux. En retour, la Compagnie s'engageait à payer à la ville 10 pour 100 de son revenu annuel brut quand le bénéfice net s'élèverait à plus de 6 pour 100 et, en outre, à verser les 25 pour 100 du bénéfice réalisé en plus. Le point central de cette concession se trouvait dans la *Kurstrasse*.

Deux établissements furent installés (le premier, Markgrafenstrasse, 44; le second, Mauestrasse, 30), au moyen desquels la Compagnie dessert une partie du territoire qui lui a été attribué. Elle alimente avec eux 116 lampes à arc et 9 306 lampes à incandescence réparties entre 163 abonnés.

Ces deux stations ne produisent aucun bénéfice.

D'autres stations centrales moins importantes sont actuellement en voie de réalisation.

A Dessau, la Compagnie continentale allemande du gaz a établi une station centrale desservie par des moteurs à gaz et qui fournit l'éclairage à quelques particuliers, ainsi qu'au théâtre

1. Les renseignements qui suivent sont extraits en grande partie de la notice de M. Schilling, sur l'état actuel de l'éclairage électrique en Allemagne.

ducal. Dans le courant de cette année, son effectif sera augmenté de 800 à 900 lampes environ, destinées à éclairer le château où réside le duc.

Voici dans quelles conditions vraiment onéreuses les entrepreneurs ont traité avec la ville :

La ville conserve, après comme avant, le droit d'exploiter à son propre compte ou par un tiers l'éclairage électrique ou tout autre système que l'éclairage au gaz. Dans le cas où elle confierait à un tiers l'exploitation de l'éclairage électrique ou de tout autre système que le gaz, elle garantira à la Compagnie traitante la préférence, pourvu que celle-ci accepte les mêmes conditions. La ville a encore le droit d'exiger de la Compagnie continentale allemande du gaz, qu'elle se charge d'établir et de faire fonctionner l'éclairage électrique dans les rues. La Compagnie est tenue d'obtempérer à cette injonction dans le délai d'un an.

Les conditions particulières du traité restent soumises à une entente spéciale. Toutefois, il est convenu d'avance qu'en aucun cas la Compagnie ne pourra imposer à la ville de Dessau des prix supérieurs à ceux qu'elle exige des autres villes pour l'éclairage des rues par l'électricité.

La Compagnie acquiert la faculté d'établir des conduites souterraines ou des fils suspendus destinés à transporter l'électricité dans les maisons particulières, pourvu qu'elle remplisse les obligations qui lui incombent relativement à la pose de ces conduites.

Dans le cas où la ville voudrait éclairer à l'électricité les particuliers à son propre compte, la Compagnie devra cesser d'étendre son réseau de conduites souterraines ou suspendues à dater du jour où la ville aura promulgué sa résolution. Toutefois, la Compagnie conserve le droit de continuer à alimenter les particuliers au moyen de ces conduites et même, en cas de besoin, de les faire réparer ou remplacer, mais seulement pendant un laps de cinq années, à partir de la susdite promulgation. Si, après ce laps de temps, la ville veut enlever à la Compagnie ce droit d'exploitation, elle sera tenue de lui payer, à titre de dommages et intérêts, une somme dont le montant sera fixé par des arbitres et déterminé par les pertes résultant pour l'exploitation de la Compagnie, de la rupture du contrat signé avec la ville.

Pendant tout le temps que la Compagnie engagera le sol des rues par la pose de ses fils et conduites, elle sera tenue de payer à la ville 20 pour 100 de son bénéfice net annuel, à moins que le bénéfice net actuel ne soit inférieur aux 5 pour 100 du capital de premier établissement et d'exploitation.

A Erfurth, la Compagnie continentale allemande, propriétaire de l'usine à gaz de cette ville, a conclu, avec cette dernière, un traité dont les termes sont analogues à ceux du précédent.

Dans ce traité, ladite Compagnie insiste tout particulièrement sur ce point, qu'elle considère comme la condition essentielle de sa participation à l'industrie de l'éclairage électrique : l'emploi du gaz pour le fonctionnement des machines dynamos.

A Francfort-sur-Mein, la Compagnie du gaz de cette ville a établi, en 1886, une petite station renfermant des accumulateurs pour alimenter environ 12 lampes à arc et 256 lampes à incandescence. On peut dire de cet établissement qu'il n'a pas les proportions d'une entreprise commerciale proprement dite, mais qu'il est cependant autre chose qu'une station d'essai.

A Elberfeld, la ville s'occupe actuellement d'établir une station centrale destinée à alimenter 3 000 lampes. L'établissement, transféré à la maison Siemens et Halske, a été installé de manière à pouvoir alimenter 10 000 lampes à incandescence. Il recevra 7 machines à vapeur Compound, ayant une force effective de 100 à 170 chevaux et 14 appareils dynamos. Ces machines seront installées au fur et à mesure des besoins. Le premier établissement, qui comprend 3 machines à vapeur, 6 dynamos et 3 chaudières à vapeur, est en cours de construction et doit être livré en état de service le 1er octobre prochain.

Pour une lampe à incandescence de 16 bougies et de 60 volt-ampères, le prix de l'heure d'éclairage est d'environ 0 fr. 05; il est de 0 fr. 15 environ pour une lampe à arc de 180 bougies. Les compteurs électriques sont loués. La Compagnie doit garantir une durée moyenne d'éclairage de 1 heure 1/2 par jour.

A une date relativement plus récente, et sans parler des villes ci-dessus mentionnées, un certain nombre d'autres villes allemandes se sont sérieusement occupées, en théorie et en pra-

tique, de la question de l'établissement de stations centrales d'une certaine importance.

A Hambourg, le Sénat a fait proposer, le 21 mars 1887, au Conseil des bourgeois de la ville, de conclure un traité avec le fermier des établissements d'éclairage au gaz.

Il faut savoir que la ville, propriétaire de ces établissements, en a affermé l'exploitation et a conçu le dessein d'y rattacher étroitement l'éclairage électrique, et de garantir à cette nouvelle branche d'exploitation les mêmes avantages qu'à l'éclairage au gaz. Elle va bientôt ouvrir au compte Capital un crédit de un million de marcs (1 250 000 fr.) destiné à établir une station centrale qui desservira une partie de l'intérieur de la ville et les monuments publics et alimentera environ 10 000 lampes à incandescence de 16 bougies ou un nombre proportionnel de lampes à arc. Le fermier se chargera de l'exploitation et garantira à la ville les 3 1/2 pour 100 du capital de premier établissement, en retour des installations dont elle lui fait abandon. Il recevra lui-même 1/2 pour 100 de ce capital à titre d'intérêt du capital d'exploitation qu'il doit engager comme fonds de roulement.

L'État, de son côté, recevra sur l'excédent des recettes d'exploitation, un droit de production évalué à 13 pour 100 de toutes les recettes brutes annuelles d'exploitation.

Voici quel est le prix fixé pour l'heure d'éclairage :

1° *Lampes à incandescence.*

Lampe de 10 bougies environ	.....	0 fr.	03125
— de 16 —	.....	0	05
— de 32 —	.....	0	10
— de 50 —	.....	0	16
— de 100 —	.....	0	32

2° *Lampes à arc.*

Lampes de 3 ampères	.....	0	15
— de 4 —	.....	0	20
— de 6 —	.....	0	30
— de 8 —	.....	0	40

En outre, l'État s'occupe d'élever, dans le port franc de la

ville de Hambourg, un établissement d'éclairage électrique concurremment avec l'établissement central projeté en cet endroit, pour obtenir de la force hydraulique. L'exploitation de ces établissements sera transférée à la Compagnie des entrepôts et magasins.

A Lübeck, l'administration a pris, en juillet 1886, la résolution d'établir une station centrale dans la ville et ouvert, à cet effet, un crédit de 425 000 francs.

A Brême, l'administration a l'intention d'éclairer le port libre de cette ville avec 12 lampes à arc environ, ayant une intensité de 3 000 bougies.

A Leipsick, l'éclairage électrique fait en ce moment l'objet d'études préparatoires et la ville a ouvert, pour ces projets, un crédit de 6 250 francs. On est en train de dresser un plan général, avec répartition en districts, des devis de dépenses et des estimations de rapport présumé.

A Cologne, à la suite d'une communication faite par le directeur des usines à gaz, on a projeté d'établir une station centrale destinée à alimenter 3 000 lampes à incandescence. On y installera, soit des moteurs à gaz en un point central souterrain, rattaché à l'hôtel de ville, soit des machines à vapeur sur le terrain de la nouvelle station des pompes.

Dans le premier projet, on a prévu huit moteurs à gaz de 65 chevaux actionnant 8 dynamos et 2 moteurs d'exploitation; dans le second, 2 machines à vapeur de 150 chevaux, l'une de 100 et deux de 50 chevaux. On estime que la première installation reviendrait à 450 000 francs et la seconde à 537 500 francs.

En évaluant l'intérêt du capital de premier établissement à 5 pour 100, l'amortissement de ce capital à 10 pour 100, le prix du gaz à 0 fr. 15 et la durée de l'éclairage à 730 heures par an, l'éclairage par lampe de 16 bougies, revient, dans le premier projet, à 0 fr. 09 l'heure, en chiffre rond, et à 0 fr. 109 dans le second.

A Barmen, il y a déjà deux ans que la direction de l'établissement du gaz a résolu d'étudier un projet d'éclairage électrique général pour tout le centre de la ville. Elle a, dans ce but, fait dresser des devis de dépenses par plusieurs maisons; mais, en

raison de l'importance de l'entreprise et comme l'une des maisons adjudicataires a offert des prix de premier établissement et d'exploitation considérablement moins élevés que les autres, grâce à l'emploi de transformateurs qu'elle est encore occupée à essayer, on a jugé plus sage de suspendre momentanément l'exécution du projet, surtout pour s'assurer l'adhésion des industriels, sur laquelle il n'y avait pas à compter sans cela.

A Magdebourg, les autorités municipales sont décidées à exploiter l'éclairage électrique à leur propre compte, et elles s'occupent de dresser des devis pour l'établissement d'une station centrale. On a étudié dans ce but les installations de ce genre, et établi des calculs pour savoir s'il était plus avantageux de faire fonctionner les appareils électriques d'une usine destinée à alimenter 6 000 lampes à incandescence de 16 bougies avec des moteurs à vapeur ou à gaz. Jusqu'ici on n'est encore arrivé à aucune solution, mais tout fait prévoir que la préférence sera donnée à la vapeur,

A Francfort-sur-Mein, le bourgmestre a prié les députés de la ville d'instituer une commission mixte pour mettre à l'étude l'adoption de l'éclairage électrique dans la ville.

Ainsi donc, on le voit, l'établissement de stations centrales dans un assez grand nombre de villes considérables de l'Allemagne, est en voie d'exécution et de préparation.

Soixante villes allemandes possèdent actuellement des installations privées ou centrales d'éclairage électrique, comprenant 4 000 foyers à arc et 60 000 lampes à incandescence et exigeant une puissance mécanique totale de 15 000 chevaux.

Stations centrales d'Italie. *Station de Milan.* — La station de Milan passe à juste titre pour la plus importante et la mieux organisée non seulement de l'Italie, mais encore de toute l'Europe.

En janvier 1886 elle comptait déjà près de 8 000 lampes à incandescence et 101 lampes à arc installées ou en cours d'installation, ainsi réparties :

CONSOMMATEURS.	LAMPES à incandescence.	LAMPES à arc.
Éclairage de la voie publique	»	57
Hôtel de ville	196	»
Théâtre de la Scala	2 566	12
Théâtre Manzoni	371	»
Théâtre Philodramatique	263	1
Hôtel Continental	473	»
Hôtel Milan	238	»
Cercles	331	»
Cafés, brasseries, restaurants	859	11
Magasins	1 340	20
Imprimeries	405	»
Banques	610	»
Appartements	101	»
Usine électrique	118	»
TOTAL	7 871	101

L'usine installée rue Sainte-Radegonde est disposée pour suffire à l'alimentation de 10 000 lampes, et il est fort probable qu'elle sera en pleine marche et que ces 10 000 lampes seront toutes en activité quand ce livre paraîtra.

Au commencement de 1886, la salle des chaudières contenait 6 générateurs type Babcock et Wilcox de 160 chevaux ; l'un fournissait la vapeur à 8 dynamos à moteur adhérent du type représenté page 221, débitant chacune un courant de 900 ampères sous 120 volts à 350 tours par minute, et à une machine actionnant une dynamo de 400 lampes destinée au service de nuit et de jour, depuis la fermeture des théâtres jusqu'à l'après-midi des jours suivants. Le réseau de conducteurs est formé par des câbles de 93 millimètres carrés de section, qui s'étendent sous le pavé de chaque côté des rues servies par l'usine.

Le courant est distribué à ce réseau par des conducteurs d'alimentation, également souterrains, dont la section varie de 250 à 600 millimètres carrés. Ces conducteurs partent de l'usine,

y recueillent le courant des dynamos et le portent à des points du réseau choisis de façon à égaliser, à 2 pour 100 près, la force électromotrice chez les consommateurs.

Le petit nombre de lampes fournies pour les éclairages d'appartement provient de ce que ces éclairages sont peu rémunérateurs, à cause de la petite consommation de lumière à domicile et surtout de ce que l'usine aimait mieux satisfaire aux demandes des grands établissements publics que de recruter péniblement une clientèle bourgeoise.

En mai 1886, la Société Édison, qui exploite la station de Milan, a fait installer une série d'appareils Zipernowsky.

L'essai a été fait en éclairant partiellement le théâtre dal Verme, situé à 1 150 mètres de l'usine. L'éclairage était limité à 451 lampes de 16 bougies et 2 lampes à arc.

A la station de Sainte-Radegonde on a monté une dynamo Ganz à courants alternatifs et on a envoyé son courant au théâtre au moyen d'un câble concentrique posé sous terre.

La dynamo a 20 pôles magnétiques et donne avec 250 tours (vitesse normale) 5 000 inversions de courant. Elle est calculée pour produire un courant de 55 ampères sous 1 300 volts.

La section de chaque conducteur est de 25 millimètres carrés, la résistance totale de la ligne est de 1,54 ohm.

La conduite entre au théâtre et arrive dans un petit local où l'on a placé trois transformateurs, ayant chacun 7 500 watts de capacité. La force électromotrice est réduite à 96 volts effectifs aux bornes de ces transformateurs.

L'essai a parfaitement réussi.

Les conditions d'abonnement de la station centrale de Milan ont été modifiées à plusieurs reprises; les prix varient suivant que le consommateur accepte ou non de payer une taxe annuelle.

Les derniers tarifs étaient établis de la manière suivante :

1° *Cas d'une taxe fixe.*

Pour une lampe de 10 bougies, 22 fr. par an, plus 0 fr. 027 par heure d'éclairage.

Pour une lampe de 16 bougies, 35 fr. par an, plus 0 fr. 04 par heure d'éclairage.

En supposant 1 000 heures d'éclairage par an, la lampe de

10 bougies revient ainsi à 50 francs et celle de 16 bougies à 75 francs pour une année.

2° *Cas où la taxe fixe n'existe pas.*

Lorsque la taxe fixe n'existe pas, les prix varient suivant le nombre d'heures d'éclairage par lampe et par mois.

Pour une lampe de 10 bougies, 0 fr. 06 l'heure au-dessous de 41 heures par mois ; 0 fr. 055 de 41 à 80 heures ; 0 fr. 05 de 81 à 100 heures ; 0 fr. 045 de 101 à 125 heures ; 0 fr. 04 de 126 à 150 heures et 0 fr. 0375 de 151 heures et au-dessus.

Pour une lampe de 16 bougies, 0 fr. 09 au-dessous de 41 heures ; 0 fr. 0825 de 41 à 80 heures ; 0 fr. 075 de 81 à 100 heures ; 0 fr. 0675 de 101 à 125 heures ; 0 fr. 06 de 126 à 150 heures ; 0 fr. 056 de 151 heures et au-dessus.

En admettant comme ci-dessus 1 000 heures d'éclairage par an également réparties, le client paye pour une lampe de 10 bougies 50 francs par an et pour une lampe de 16 bougies 75 francs par an ; c'est-à-dire exactement les mêmes prix que dans le cas d'une taxe fixe.

La Société prend à sa charge le remplacement des lampes mises hors de service par l'usure.

Station centrale de Rome. — On crée actuellement à Rome une station qui comportera, dit-on, 18 000 lampes et qui sera réalisée au moyen de transformateurs Zipernowsky.

C'est à l'usine à gaz du Circo Massino que le matériel mécanique et électrique est en cours d'installation.

Ce matériel une fois terminé comprendra :

Quatre grandes machines à courants alternatifs, dont une de rechange, chacune pouvant alimenter 4 000 lampes à incandescence de 16 bougies, en tournant à la vitesse de 125 tours par minute.

Deux machines de moindre dimension à courants alternatifs, pouvant alimenter chacune 1 000 lampes à incandescence de 16 bougies.

Trois dynamos chargées spécialement d'entretenir le champ magnétique des grandes machines, les petites machines étant auto-excitatrices.

Chacune des grandes machines est commandée directement

par un moteur d'une puissance de 600 chevaux; les électro-aimants sont disposés de manière à former volant. Chacune des petites machines a son moteur de 150 chevaux. On peut ainsi mettre en marche une ou plusieurs machines, suivant les besoins de la consommation; pendant la journée, il suffira d'une ou de deux petites machines, tandis que deux ou trois grandes fonctionneront de la chute du jour jusqu'à minuit.

La force électromotrice du courant est de 1 950 volts; mais, en raison de la résistance des conducteurs, elle est réduite à 1 750 volts en arrivant aux transformateurs, dans le cas du travail maximum. Pour des courants moindres, la perte diminue et l'on maintient alors la force électromotrice un peu au-dessous de 1 930 volts à la station centrale. En tout cas, les dispositions sont prises pour avoir 1 750 volts dans le réseau de distribution auquel sont rattachés les transformateurs.

Afin d'arriver autant que possible à ce résultat, la canalisation comporte trois conduites principales ou feeders qui peuvent être mises en communication, au moyen de clefs, avec l'une quelconque des six machines à courants alternatifs. Les conducteurs de distribution sont branchés sur les feeders.

L'installation de l'usine paraît avoir été étudiée avec un soin extrême, en vue de permettre le contrôle des appareils et de réaliser la distribution du courant dans les meilleures conditions.

Une première installation, faite à titre d'essai, comprend 24 lampes à arc de 800 bougies chacune, ainsi distribuées : piazza Venezia, 4; piazza Colonna, 10; piazza Montecitorio, 10; et 600 lampes à incandescence de 16 bougies chacune, système Édison, ainsi réparties : théâtre National, 200; Parlement, 180; cercles, 100; magasins, 120.

Cet éclairage est produit par deux dynamos à courants alternatifs (dont une de service normal et une de rechange), donnant chacune 2 000 volts et 42 ampères. La dynamo est actionnée directement par une machine à vapeur de 150 chevaux de force marchant à 250 tours et alimentée par deux chaudières tubulaires. La lumière est fournie de 4 heures de l'après-midi à 1 heure du matin.

Un bâtiment d'une superficie d'environ 1 500 mètres carrés a

été construit par la Société et fait suite à l'usine à gaz. Cette construction, qui est surmontée d'une cheminée de 50 mètres de hauteur, doit servir à la grande installation.

Les conducteurs de courants sont placés sous terre; ils sont fabriqués suivant le système concentrique Siemens et ont 220 millimètres carrés de section; leur longueur est d'environ 5 kilomètres.

Les installations faites jusqu'à présent ont été payées pour les lampes à arc par la ville, et pour les lampes à incandescence par les particuliers. La Société du gaz exploite elle-même et se fait payer par heure 80 centimes pour chaque lampe à arc et 8 centimes pour chaque lampe à incandescence.

CHAPITRE XXII

APPLICATIONS A LA NAVIGATION

Éclairage intérieur des navires. — Beaucoup de navires sont actuellement éclairés par l'électricité; dans les uns l'installation est complexe, elle comprend des appareils de projection à arc voltaïque placés extérieurement et des lampes à incandescence placés intérieurement.

Nous ne parlerons dans le présent chapitre que de l'éclairage intérieur et nous traiterons, dans le chapitre XXIV consacré aux opérations militaires, de l'emploi des projecteurs, qui sont plutôt des engins de protection, de défense et d'attaque que des appareils d'éclairage proprement dits.

Les conditions essentielles à remplir pour éclairer les navires sont les mêmes, qu'il s'agisse des grands bâtiments de guerre ou des grands paquebots des Compagnies de transports.

Dans les navires militaires, la complication des circuits est un peu plus grande, et dans les navires marchands l'appareillage est un peu plus orné. On demande à la lumière électrique, dans ces derniers, un surcroît de confort et de luxe, en même temps qu'une égale sécurité.

Les avantages de l'éclairage électrique à bord des navires peuvent se résumer en quelques mots : augmentation d'éclairement, facilité de service, suppression des chances d'incendie, augmentation de bien-être pour les passagers et l'équipage, et enfin économie sur les autres systèmes.

Le nombre des lampes nécessaires dépend de la grandeur du bâtiment : 25 lampes suffisent pour les torpilleurs de haute mer et il en faut 500 sur les grands transatlantiques comme *la Bour-*

gogne, la Gascogne, la Champagne; les navires ordinaires sont généralement pourvus de 300 lampes. Le meilleur type de lampe est celui de 10 bougies. Cette intensité suffit pour les locaux bas et resserrés des navires. Pour les feux de signaux et de route, on emploie des lampes de 20 ou de 30 bougies.

Le nombre des circuits, qui n'est souvent que de 4 sur les navires marchands, atteint quelquefois 16 sur les navires de guerre. Tous ces circuits partent d'un tableau de distribution placé dans le voisinage des dynamos.

Chaque circuit est commandé par un commutateur spécial et possède un coupe-circuit de sécurité. Les lampes dont on n'a pas besoin continuellement sont munies de commutateurs individuels permettant de les allumer et de les éteindre à volonté.

Les coupe-circuits de l'ensemble de la distribution sont convenablement répartis, de manière à supprimer le passage du courant dans les parties mises accidentellement en court-circuit.

Les conducteurs sont bien isolés et très accessibles dans toutes les parties du circuit. Si, pour des motifs de décoration, on les enchâsse dans des rainures en bois, on a soin de poser les couvercles de manière à ce qu'ils puissent se démonter facilement.

Dans quelques navires, particulièrement dans les marines étrangères, la coque en fer est utilisée pour établir le retour. Cette disposition est si dangereuse que nous voudrions la voir proscrire partout : les avantages de simplicité et d'économie qu'elle réalise ne sauraient, en aucun cas, compenser les accidents de courts-circuits auxquels elle donne fatalement lieu au bout d'un temps de service plus ou moins long.

Pour assurer un bon service d'éclairage électrique dans les navires, il faut, autant que possible, alimenter les lampes par des dynamos Compound et des moteurs indépendants. Il est bon de ne pas donner aux machines à vapeur des vitesses dépassant 350 tours, afin de pouvoir les relier facilement aux dynamos, tout en leur assurant un fonctionnement régulier et durable.

Ces indications générales suffisent pour donner une idée du problème à résoudre. Deux exemples, empruntés à la *Revue Industrielle*, nous permettront de développer et d'appuyer les dites indications.

Éclairage du paquebot-poste l'« Océanien ». — L'installation électrique du paquebot l'*Océanien*, de la Compagnie des Messageries maritimes, a été exécutée par MM. Sautter, Lemonnier et Cie, en 1886.

Cette installation comprend 200 lampes à incandescence de 10 bougies pour les salons, couloirs et cabines ; 2 lampes de 20 bougies pour les soutes à marchandises et 3 lampes de 40 bougies pour les feux de route. Un régulateur à arc de 150 carcels peut, à un moment donné, être rapidement suspendu à l'extrémité d'une vergue pour éclairer les abords et le pont du bateau, soit pour un chargement ou un déchargement, soit pour toute autre opération nécessitant une lumière générale à l'extérieur.

Les besoins de service sont très variables : un certain nombre de lampes doivent fonctionner toute la soirée et leur extinction ne pouvoir se faire que par groupes déterminés ; d'autres lampes doivent pouvoir être éteintes par groupes, ou individuellement dans chaque groupe ; d'autres ne doivent jamais être éteintes. Enfin, il faut être en mesure, pour parer à tout arrêt accidentel, de rétablir instantanément l'éclairage complet d'une partie quelconque du bateau et de faire qu'aucun compartiment ne soit, en aucun cas, privé complétement de lumière.

Le nombre de lampes en activité est très variable ; par suite, elles doivent être indépendantes les unes des autres et leur intensité maintenue constante, quel que soit le nombre d'appareils en service. Il convient donc d'assurer le service au moyen de deux groupes de machines distinctes pour parer à toute éventualité.

Ce programme, comme nous allons le voir, se trouve très heureusement rempli à bord de l'*Océanien*.

Dans ce paquebot, deux dynamos Gramme concourent à l'éclairage. Chaque dynamo peut fournir un courant de 118 ampères, c'est-à-dire alimenter jusqu'à 180 lampes de 10 bougies (à peu près le nombre strictement nécessaire de lampes allumées ensemble).

Lorsque l'éclairage fonctionne au complet, les deux dynamos sont mises en marche ; puis, vers onze heures du soir, le nombre de lampes allumées étant inférieur à 150, une seule dynamo continue à fonctionner.

Pour laisser aux lampes toute indépendance, les dynamos sont compound, de telle sorte que la chute de potentiel reste constante aux bornes, quelles que soient les variations de résistance du circuit extérieur; mais à la condition toutefois que la vitesse du moteur reste elle-même rigoureusement constante.

Cette disposition permet, sans qu'il y ait à introduire aucune résistance en un point du circuit ou à la machine, de faire varier le nombre de lampes depuis le maximum 180 jusqu'à une seule, de maintenir constante l'intensité des lampes allumées et de dépenser une quantité de travail proportionnelle au nombre des lampes en activité. La puissance nécessaire pour 150 lampes de 10 bougies est de 12 chevaux 5.

Ce réglage automatique du courant a, dans les navires, une importance particulière par la facilité qu'elle donne au service. Une fois la dynamo mise en route une heure avant le coucher du soleil, son graissage assuré, il n'est pas nécessaire de prendre aucun soin. On peut ensuite allumer ou éteindre à volonté les lampes nécessaires, sans que les mécaniciens aient à s'en préoccuper.

Des précautions toutes particulières sont prises pour assurer la protection des différents organes et leur bonne isolation dans les conditions spéciales du bord où les dynamos sont exposées à une grande humidité et à une température élevée.

Chaque dynamo est actionnée directement, sans aucun intermédiaire, par un moteur à grande vitesse du système Mégy, monté sur la même plaque de fondation, de manière à former un ensemble dont les dimensions sont : longueur $2^m,20$; largeur $1^m,250$, hauteur $1^m,150$. Le poids total est de 2 500 kilog.

Un tachymètre placé sur chaque ensemble permet de contrôler à tout instant l'efficacité absolue du régulateur de vitesse.

Le moteur Mégy est à deux cylindres à simple effet, à tiroir circulaire équilibré, animé d'un mouvement continu de rotation quatre fois moins rapide que celui de l'arbre de couche de la machine, qui le commande au moyen d'une série de harnais d'engrenages.

Cette disposition permet de très larges et très brusques in-

troductions de vapeur derrière les pistons, sans espaces nuisibles, ni laminage de vapeur.

Les moteurs de l'*Océanien* ont été calculés pour marcher normalement à une vitesse de 1 000 tours et développer à 4 kilog. de pression par centimètre carré, une puissance de 23 chevaux. Les pistons ont 180^{mm} de diamètre et 100^{mm} de course.

La marche à bord n'étant que de 755 tours avec une puissance maxima de 14 chevaux, ils se trouvent dans d'assez bonnes conditions de durée.

Les régulateurs de vitesse des deux moteurs sont d'une précision et constance remarquables.

Personne n'ignore quelle influence exerce, au point de vue de l'éclairage électrique, la régularité d'allure du moteur; aussi, appellerons-nous l'attention sur ce point capital de toute installation. La chute de potentiel aux bornes de la dynamo, et, par suite, l'indépendance des lampes, sera assurée, sans que l'on ait à se préoccuper d'aucun réglage, à la seule condition que la vitesse du moteur soit régulière et reste constante, quelle que soit la puissance qu'on lui demande.

Les résultats obtenus avec les régulateurs des moteurs Mégy ne laissent rien à désirer à cet égard; la variation maxima du nombre de tours n'atteint pas 4 pour 100, lorsqu'on passe de 1 lampe à 160, avec des pressions variant entre 3 et 5 kilog.

Ce régulateur se compose essentiellement de deux lames de ressorts en acier, convenablement courbées et dont les déformations, sous l'effort de la force centrifuge, donnent, par l'intermédiaire de deux manchons et d'un levier, à une valve d'admission de vapeur, des déplacements linéaires proportionnels à la variation de vitesse du moteur. Cette valve d'admission est elle-même de forme particulière, de telle sorte que les orifices de passage de la vapeur qu'elle découvre sont proportionnels au carré des déplacements linéaires qui les ont provoqués. Ces dispositions permettent au régulateur Mégy d'agir énergiquement et d'une manière aussi efficace, même avec des différences de vitesse très faibles, et de réaliser cette condition de régularité essentielle à l'automacité de l'ensemble.

Les deux groupes de machines sont disposés parallèlement,

sur l'emplacement d'une soute à charbon, attenant à la salle des machines motrices du bord. L'emplacement total, en tenant compte d'un vide de $0^m,40$ laissé tout autour des machines pour la circulation, est de $4^m,35$ sur $2^m,20$, soit $9^{m^2},57$, et pourrait être réduit à $7^{m^2},75$.

Deux circuits principaux, babord et tribord, alimentent les lampes des parties principales du bateau ; deux autres, moins importants quant au nombre de lampes, mais presque toujours en activité, éclairent la machine motrice, les tunnels et les chaufferies.

Chaque compartiment du bateau est éclairé à la fois par des lampes appartenant à chacun des circuits de babord et de tribord, de manière à éviter une extinction totale, en cas d'arrêt accidentel de l'un ou de l'autre.

Les extrémités des fils de chacun de ces circuits aboutissent, ainsi que ceux venant des dynamos, à un tableau de distribution placé dans la salle des machines, entre les deux groupes, sur la paroi verticale du bateau.

Le tableau de distribution se compose d'un panneau en noyer verni, sur lequel sont montés :

Quatre commutateurs pour la mise en marche ou l'arrêt complet des quatre circuits principaux; deux autres commutateurs permettant d'alimenter ou les quatre circuits par une machine quelconque, ou deux par la machine-avant et les deux autres par la machine-arrière.

Un voltmètre pour contrôler la chute de potentiel aux bornes de l'une ou l'autre machine; un ampèremètre pour vérifier l'intensité du courant fourni soit par la machine-arrière en manœuvrant le contrôleur-arrière, soit par la machine-avant en manœuvrant le contrôleur-avant; deux coupe-circuits principaux placés sur le circuit total de chaque dynamo, pour le rompre automatiquement dans le cas d'un débit exagéré et dangereux pour les appareils.

Les extrémités des fils sont repérées sur le tableau au moyen de signes de couleurs différentes, et des inscriptions sur tôle émaillée rendent commode la manœuvre des différents commutateurs.

Les circuits de babord et de tribord se subdivisent en un

certain nombre de circuits ayant chacun pour objet l'éclairage d'une partie déterminée du bateau, salons, cabines, couloirs, etc., à un moment et pour un temps déterminés.

Un commutateur à clef permet, seulement à la personne chargée du service, la mise en marche et l'arrêt de chacune de ces subdivisions, dont les lampes sont également protégées par un coupe-circuit automatique. Quelques lampes sont en outre munies d'un commutateur individuel qui permet de les éteindre à volonté, en dehors des autres appartenant au même groupe.

L'ensemble de ces dispositions réalise cette condition dont nous avons, en commençant, reconnu la nécessité : possibilité d'assurer toujours et dans tous les cas l'éclairage complet d'une partie quelconque du bateau.

Jusqu'à présent, la marine marchande a peu apprécié l'emploi des appareils de projection devenus réglementaires dans la marine militaire; ces appareils sont cependant appelés, dans un avenir prochain, à rendre de réels services à bord.

Les dimensions et la hauteur des compartiments d'un bateau ne comportent pas l'emploi des lampes à arc, même de petite intensité, pour l'éclairage intérieur; mais, qu'il s'agisse d'un débarquement ou d'un embarquement de marchandises, de la réparation d'une avarie, ou de toute autre manœuvre nécessitant l'éclairage général des abords et du pont supérieur, le besoin de foyers puissants s'impose immédiatement; qu'il y ait à traverser la nuit une passe étroite, aborder un quai, entrer dans un port, et un appareil de projection puissant éclairant la route devient indispensable.

Il faut donc, en prévision de ces besoins, que les machines destinées à l'éclairage intérieur soient capables, en même temps, d'alimenter des foyers à arc. Cette application est faite sur l'*Océanien*, où les mêmes dynamos peuvent fournir l'électricité nécessaire à plusieurs régulateurs à arc d'une intensité lumineuse variable, suivant leur nombre, de 100 à 400 carcels, chacun d'eux conservant son indépendance absolue.

Un régulateur Gramme a été embarqué sur l'*Océanien*, il est muni d'une lanterne d'extérieur avec abat-jour, et d'un câble de 75 mètres de longueur. En quelques minutes il peut être suspendu

à l'extrémité d'une vergue et fournir une lumière de 150 carcels, sans qu'il y ait autre chose à faire que de raccorder son câble sur deux conducteurs principaux quelconques des circuits et de tourner un commutateur.

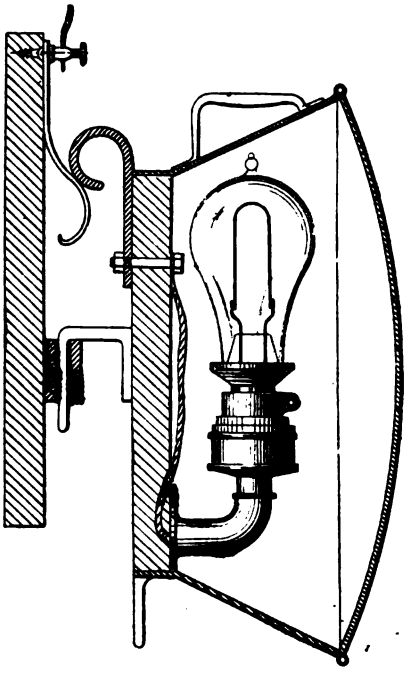


Fig. 305. — Lampe placée sur le pont de l'*Océanien*.

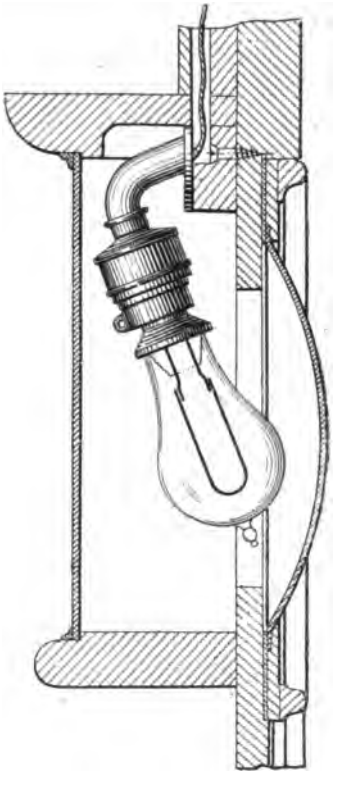


Fig. 306. — Lampe placée dans les cabines de l'*Océanien*.

Les lampes à incandescence employées sur l'*Océanien* sont des lampes Édison du type de 12 bougies et des lampes Woodhouse et Rawson de 20 et 40 bougies; elles sont fixées sur des supports simples, en harmonie avec la décoration intérieure et l'aménagement confortable de ce paquebot. Celles qui sont placées dans les salons ont des globes dépolis; les autres, en verre clair, sont pour la plupart enfermées dans des lanternes munies de verres dépolis.

Les lampes du pont sont mobiles et installées comme l'in-

dique la figure 305. Les lampes des cabines (Fig. 306), sont placées à cheval sur les cloisons et servent en même temps à éclairer les coursives.

Pour les soutes à bagages, les lampes sont placées dans des lanternes spéciales protégées par des grillages.

S'il est important d'assurer l'éclairage de toutes les parties intérieures d'un bateau, il est indispensable de rendre impossible l'extinction, même momentanée, des feux de route. Sur l'*Océanien*, on s'est contenté de mettre une lampe de rechange dans chaque fanal et de se réserver la possibilité de substituer rapidement l'éclairage ordinaire à l'éclairage électrique.

En poursuivant leurs études, MM. Sautter, Lemonnier et Cie ont été conduits à créer un nouveau fanal qui se compose de deux optiques superposés, semblables à ceux des fanaux actuels. Une lampe à incandescence de 40 bougies est placée au foyer de chaque optique; ces deux lampes fonctionnent simultanément et augmentent considérablement l'intensité des feux. Une machine dynamo spéciale alimente les lampes des feux de route et maintient toujours prête à fonctionner une batterie d'accumulateurs capable de fournir l'électricité nécessaire à ces mêmes foyers pendant 8 à 10 heures.

Un avertisseur d'extinction est placé dans le circuit de chaque lampe; il met en action une sonnerie, si, accidentellement, cette lampe vient à cesser de fonctionner.

Éclairage de « l'Indomptable ». — Nous avons dit précédemment qu'il était bon de ne pas donner aux machines qu'actionnent les dynamos dans les navires une vitesse dépassant 350 tours par minute; la seule critique à présenter sur l'installation de l'*Océanien* est précisément l'emploi de machines motrices tournant à 755 tours. Nous reconnaissons volontiers les qualités exceptionnelles de la machine de M. Mégy; mais, autant nous comprenons l'usage des machines à très grande vitesse pour des services accessoires d'une courte durée, autant nous le proscrivons lorsqu'il s'agit d'assurer un service aussi régulier, aussi constant et d'aussi longue durée que celui de l'éclairage de toutes les parties d'un navire.

MM. Sautter, Lemonnier et Cie ont si bien compris le défaut de sécurité occasionné par l'allure trop rapide du moteur, qu'ils

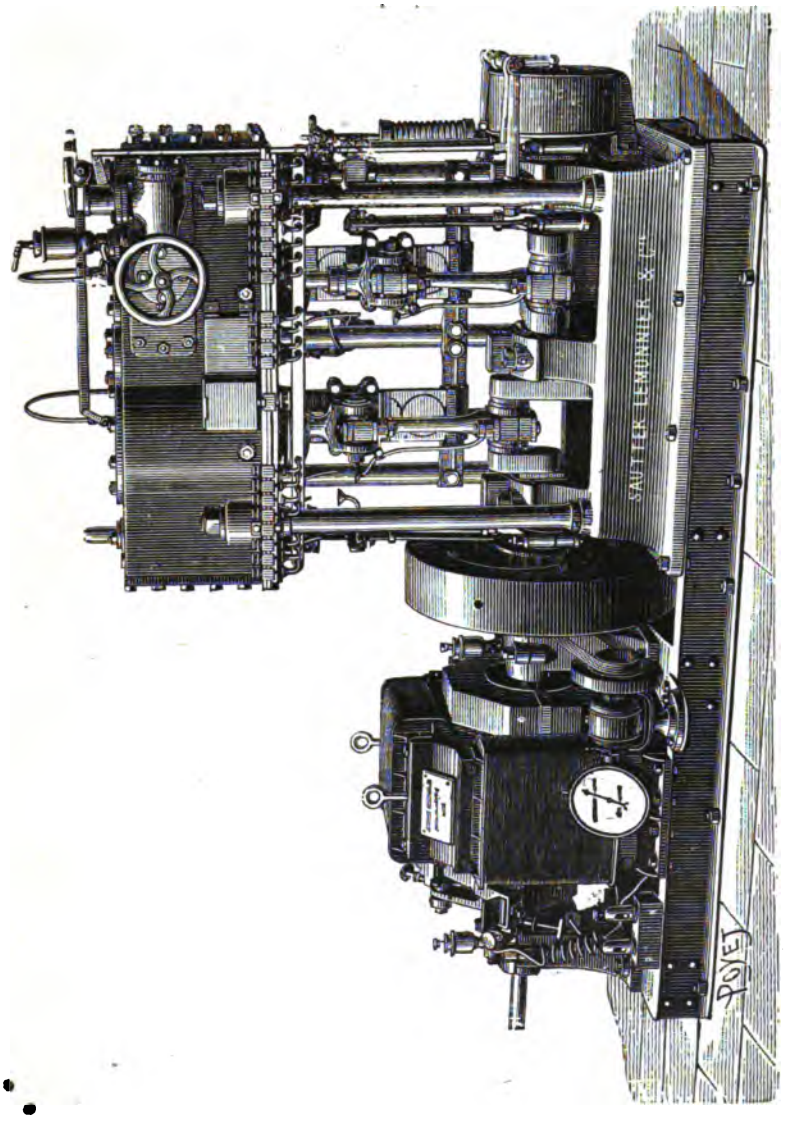


Fig. 307. — Appareil Sautter, Lemonnier et Cie pour les navires.

ont étudié une machine ne dépassant pas la vitesse de 350 tours et actionnant directement une dynamo à 4 pôles.

La réunion de ces deux appareils forme un ensemble des

plus satisfaisants, que nous représentons (Fig. 307). Il est appliqué sur l'*Unebi*, l'*Indomptable* et sur plusieurs autres navires.

Sur l'*Indomptable*, il existe deux ensembles pouvant donner chacun un courant de 150 ampères sous une chute de potentiel de 66 volts, à la vitesse normale. Les dimensions du groupe, moteur et dynamo, sont : longueur $3^m,40$, largeur $0^m,80$ et hauteur $1^m,60$. Le poids total est de 3 200 kilogrammes.

La dynamo est à double enroulement. Elle est isolée magnétiquement du bâti au moyen de supports en laiton.

Le moteur, du type pilon, est à deux cylindres genre compound. Afin de réduire le poids au minimum, le cylindre et le bâti seuls sont en fonte, tous les autres organes en bronze ou en acier. L'examen du dessin montre que tous les organes sont bien en vue et facilement accessibles même pendant la marche ; tous les coussinets, en bronze phosphoreux ou garnis de métal antifriction, sont à rattrapage de jeu.

La distribution est faite dans le grand cylindre par un seul tiroir et dans le petit cylindre par un tiroir double à détente variable ; on peut ainsi, avec un réglage convenable, fonctionner toujours dans les conditions les plus économiques de consommation de vapeur, soit à condensation, soit à échappement libre.

Le régulateur de vitesse est particulièrement sensible, il est, de plus, disposé de telle sorte que pendant la marche on peut faire varier l'allure du moteur. Les dispositions les plus complètes ont été prises pour la distribution du graissage en tous les points.

Le moteur et la dynamo sont montés dans le prolongement l'un de l'autre, sur un châssis commun en fer à double T qui sert en même temps de bâti aux organes de la dynamo. L'accouplement est fait par un manchon flexible à ressorts, entièrement métallique, dispensant de prendre au montage à bord les précautions minutieuses qu'exigerait un accouplement rigide.

Chaque ensemble peut alimenter 8 projecteurs de $0^m,40$ de diamètre avec 45° de divergence, c'est-à-dire tout l'horizon, pendant que l'autre illumine 225 lampes pour l'éclairage intérieur ; en raison de leur identité, l'un pouvant se substituer à l'autre dans un de ces services si différents.

L'essai de consommation des moteurs à vapeur a indiqué en moyenne 9 kilog. 5 d'eau par heure et cheval effectif mesuré au frein ; pression de vapeur 3 kilog.; condensation 0,60.

Navigation de nuit dans le canal de Suez. — Bien que les moyens employés au canal de Suez pour en opérer la traversée pendant la nuit ne se rattachent que très indirectement à ce qui précède, nous croyons utile de consigner ici la communication faite en 1886 par M. de Lesseps à l'Académie des sciences sur diverses expériences exécutées sous sa haute direction. Tout ce qui peut accélérer les progrès de l'éclairage électrique ne saurait nous être indifférent, et nous considérons les mesures prises à la Compagnie de Suez comme extrêmement favorables à l'intérêt de la navigation universelle, par l'emploi de feux de direction sur la ligne du canal et de feux électriques à bord des navires.

« L'application de la lumière électrique au passage des navires dans le canal de Suez a été étudiée :

« 1° Au point de vue de l'exécution de nuit des travaux d'entretien et d'amélioration, dans le but de diminuer, pendant le jour, les ennuis qui peuvent résulter pour la navigation, dans certains cas, de la présence dans le canal des appareils de dragage en travail et des transporteurs emportant les déblais ;

« 2° Au point de vue du transit des navires proprement dit, le passage de nuit permettant de réduire la durée des arrêts en garage, inévitables jusqu'au moment où l'élargissement du canal maritime, effectué dans toute sa longueur, facilitera les croisements.

« Après un certain nombre d'expériences longues et délicates, ces deux questions ont été résolues avec succès. La question de la navigation de nuit dans le canal devait être abordée avec la plus grande prudence ; un essai prématuré malheureux et un insuccès surtout eussent produit, sur les armateurs et sur les assureurs, une impression déplorable, susceptible de retarder l'application pratique de la facilité nouvelle recherchée. Un succès trop hâtif, d'autre part, eût peut-être préparé des déceptions.

« Dès le début, l'idée de l'éclairage du canal a dû être défi-

nitivement écartée. Ce système, excessivement coûteux, aurait plutôt nui à la bonne marche des navires : la lumière n'eût pas éclairé, mais ébloui les pilotes et les capitaines.

« Les études et essais de toutes sortes se terminèrent, au commencement de 1883, par une application pratique aux dragages de nuit par porteurs. Ces essais répondaient à la fois aux conditions d'un travail de nuit dans le champ de dragage, et à celles d'un transit de nuit des porteurs, véritables navires marchant à 10 kilomètres par heure, vitesse réglementaire des bâtiments passant le canal.

« Les appareils à bord de la drague comprenaient : une machine dynamo-électrique Gramme avec réflecteur et un moteur Brotherhood, de 5 chevaux, alimenté par la chaudière à vapeur de la drague elle-même. L'ensemble de ces appareils devait donner un éclairage régulier sur le pont, dans le puits de la drague, et projeter une clarté suffisante sur une zone environnante d'au moins 100 mètres de largeur à partir des flancs et des extrémités de l'appareil.

« Chaque porteur naviguant était muni d'une machine dynamo-électrique Gramme, donnant 24 ampères, d'une lampe Gramme devant être allumée pendant le chargement et éteinte pendant la marche ; d'un projecteur Mangin, à porte divergente, et d'un moteur Brotherhood de 3 chevaux, alimenté par la chaudière du porteur, ensemble destiné à réaliser un éclairage régulier et suffisant pour les manœuvres sur le pont des porteurs, pour leur accostage et enfin pour leur marche de nuit dans le canal maritime.

« Ces essais pratiques ayant réussi, il fut procédé, au commencement de 1884, à un essai prolongé de transit de nuit au moyen de l'un des porteurs. Le navire passa de nuit d'Ismaïla à Suez (c'est-à-dire dans la partie du canal où se rencontrent des courbes et des courants), dans d'excellentes conditions. Cet essai démontra que le principe et les dispositions des appareils étaient convenables, et qu'il suffisait, pour arriver au succès, de quelques légères modifications dans les appareils, et d'un changement dans les dispositions des bouées balisant le chenal, qu'il convenait de rapprocher, de manière que le faisceau lumineux du

projecteur à bord du navire pût éclairer trois couples de balises à la fois.

« Il fut aussitôt décidé que des essais tout à fait concluants seraient faits au moyen d'un des gros remorqueurs de la Compagnie. Ces essais ont permis, sans hésitation, d'arrêter le mode de navigation de nuit actuellement pratiqué.

« Le remorqueur, de 36 mètres de longueur à la flottaison et $6^m,80$ de largeur au fort, fut muni d'une machine dynamo-électrique du système Gramme, donnant 45 ampères et commandée directement par un moteur à vapeur Mégy, alimenté par les chaudières du navire, d'un projecteur de $0^m,40$ de diamètre, placé à l'avant avec miroir aplanétique du colonel Mangin et porte divergente, d'une lampe automatique de Gramme pour l'éclairage du pont, des flancs et de l'arrière du remorqueur, suivant les besoins ; d'une table de distribution, avec résistances d'équilibre, et de tous les câbles et accessoires divers nécessaires.

« Les essais de transit de nuit du remorqueur, faits en 1884, réussirent complètement. On en conclut que des navires gouvernant bien, munis d'appareils similaires, pourraient certainement passer le canal, de nuit, avec les installations à bord ci-dessus décrites : un rapprochement des bouées de 0,3 à 0,2 mille, l'établissement de feux de direction donnant les alignements droits et les tangentes des courbes; feux au pétrole, d'une portée de 9 milles, montés sur des potences spéciales ou des bouées lumineuses du système Pintsch.

« Ces installations étant terminées et éprouvées dans une première section du canal (de Port-Saïd au kilomètre 54), la Compagnie publia, le 5 novembre 1885, un règlement aux termes duquel, à partir du 1er décembre 1885 et jusqu'à nouvel ordre, les navires de guerre et les navires postaux, gouvernant bien et munis des appareils voulus, étaient autorisés à passer le canal de nuit aux mêmes condictions édictées pour le transit de jour.

« Les appareils nécessaires à bord étaient : à l'avant du navire, un projecteur électrique d'une portée de 1 200 mètres ; à l'arrière, une lampe électrique capable d'éclairer un champ circulaire de 200 à 300 mètres de diamètre; sur chaque flanc, une lampe électrique avec réflecteur. Ce règlement spécifiait, en ou-

tre, les conditions dictées par l'expérience pour les manœuvres de transit, la marche et les garages.

« Les navires ont à se munir à leurs frais, et suivant leurs convenances, des appareils d'électricité, qu'ils utilisent d'ailleurs hors du canal pour leurs propres opérations. La Compagnie n'impose aucun système d'éclairage électrique; elle autorise à transiter de nuit tout navire de guerre ou tout paquebot-poste dont les appareils sont reconnus répondre, en pleine sécurité, comme intensité et position des foyers lumineux, à toutes les conditions nécessaires dans les limites du règlement spécial publié.

« Dans la pratique actuelle de la navigation de nuit, un navire transitant se dirige dans les parties rectilignes du canal en pointant sur le feu de direction le plus éloigné qu'il aperçoit, sans allumer son projecteur ni ses lampes, à moins qu'il ne veuille, à un moment donné, vérifier sa position par rapport aux bouées du chenal. Dans les courbes, les feux spéciaux donnent au navire la direction d'entrée, ainsi que la direction de sortie, et la courbe est décrite en manœuvrant à l'aide des feux du projecteur, des lampes de flanc et, au besoin, de la lampe d'arrière qui peut indiquer constamment la position de l'étambot par rapport aux limites du chenal.

« Il résulte des observations faites sur les traversées de nuit exécutées à ce jour par les paquebots-poste de la Compagnie anglaise Péninsulaire Orientale, que la durée moyenne du transit a été de vingt heures et dix minutes : pendant la même période de temps, la durée moyenne de passage des autres paquebots postaux transités de jour, a été de trente et une heures quinze minutes.

« La rapidité obtenue par la navigation de nuit et la sécurité matérielle constatée, ont amené la Compagnie à décider l'accès d'une nouvelle section du canal à cette navigation, du kilomètre 54 au phare sud des Lacs amers.

« Des installations provisoires suffisantes, qui seront remplacées par des installations définitives au fur et à mesure de la livraison des commandes faites pour les installations définitives correspondantes, permettront bientôt de naviguer de nuit

sur 110 kilomètres du canal, qui a 160 kilomètres de longueur. Et les installations nécessaires seront poursuivies, pour que, dans un temps rapproché, le canal tout entier soit accessible à la navigation de nuit. »

Ce que M. de Lesseps prévoyait à la fin de 1885 s'est très rapidement réalisé; les installations totales furent terminées en moins de quinze mois et la Compagnie de Suez prit, dès le 12 février 1887, l'arrêté suivant :

« A partir du 1er mars 1887 et jusqu'à nouvel ordre, seront autorisés à marcher la nuit, d'une extrémité à l'autre du canal, aux mêmes conditions que celles établies pour la navigation de jour, et en se soumettant aux conditions ci-après :

« Les navires qui auront l'intention de transiter de nuit et qui auront fait constater à Port-Saïd ou à Port-Tewfik, par les agents de la Compagnie, qu'ils sont munis :

« 1° A l'avant : d'un projecteur électrique d'une portée de 1 200 mètres; ce projecteur devra être placé aussi près que possible du niveau de l'eau;

« 2° D'une lampe électrique à abat-jour suspendue au-dessus du pont et capable d'éclairer un champ circulaire d'environ 200 mètres de diamètre.

« Les agents de la Compagnie décideront si les appareils remplissent les conditions réglementaires et présentent les garanties nécessaires pour que les navires qui en sont porteurs puissent, sans inconvénient, être autorisés à marcher de nuit dans le canal. »

Depuis que cette autorisation a été accordée, de nombreux navires se sont pourvus du matériel nécessaire et effectuent leur traversée du canal pendant la nuit. Ce matériel n'entraîne d'ailleurs pas une dépense considérable, ainsi qu'on pourra en juger par les trois devis suivants établis par la maison Sautter, Lemonnier et Cie.

Devis n° 1 pour navires possédant déjà une installation électrique.

Prix (emballage compris).....	4 550 francs.
Poids.....	1 250 kilog.
Volume.....	3 mètres cubes.

Le matériel se rapportant à ce devis comprend : un projecteur Mangin de $0^m,40$ avec porte divergente, une guérite pour ledit projecteur, deux lampes à main, un régulateur Gramme avec lanterne pour le fanal de tête de mât, un tableau de commande, un rhéostat, 75 mètres de crayons et une boîte d'accessoires.

Devis n° 2 pour navires n'ayant pas d'installation électrique.

Prix (emballage compris).....	8 000 francs.
Poids.....	2 800 kilog.
Volume.....	8 mètres cubes.

Le matériel faisant l'objet de ce devis est le même que celui du devis n° 1 ; il comprend, en outre, une machine à vapeur de 6 chevaux et une dynamo Gramme accouplées ensemble, 80 mètres de câble à double conducteur et 30 mètres de fil simple pour les raccords.

L'installation est faite à poste fixe; elle peut être utilisée ordinairement à l'éclairage du navire et alimenter 80 à 90 lampes à incandescence.

Devis n° 3 pour les navires embarquant leur matériel électrique à chaque passage.

Prix (emballage compris).....	11 700 francs.
Poids.....	2 400 kilog.
Volume.....	7 mètres cubes.

Le matériel comprend celui énuméré dans le devis n° 1 et une dynamo Gramme commandée directement par un moteur Brotherhood, le tout formant un seul colis, et les câbles nécessaires à l'installation volante.

CHAPITRE XXIII

ÉCLAIRAGE DES PHARES.

Première application. — C'est en 1863 que la lumière électrique fut, pour la première fois, appliquée à l'éclairage des phares. L'essai en fut fait avec une machine de l'*Alliance* au phare de premier ordre de la Hève, près du Havre, et les résultats en furent si satisfaisants, qu'il n'est pas douteux que tous les phares eussent été munis immédiatement de feux électriques, sans les dépenses assez élevées exigées par un remaniement général.

On a constaté que le phare à l'électricité était vu en moyenne à 8 kilomètres plus loin que le phare à l'huile, et qu'en temps de brume, la portée de la lumière était sensiblement plus du double avec le premier qu'avec le second.

M. Quinette de Rochemont, ingénieur des ponts et chaussées, a publié, en 1870, sur les phares de la Hève, une note dont voici quelques extraits :

« Depuis six années que la lumière électrique a été installée pour la première fois à la Hève, il s'est écoulé un temps suffisant pour qu'on ait pu se faire une idée exacte de la valeur de ce mode de production de lumière, au point de vue de l'éclairage des côtes.

« Les navigateurs se plaisent à reconnaître les bons services que leur rendent les phares électriques; les avantages du système ont été vivement appréciés, l'augmentation de portée des feux est très sensible, surtout par des temps un peu brumeux; elle permet à bien des navires de continuer leur marche et

d'entrer au port la nuit, alors qu'ils n'auraient pas pu le faire avec les phares à l'huile.

« La lumière, qui d'abord laissait un peu à désirer par sa mobilité, est arrivée peu à peu à avoir une fixité remarquable, grâce au perfectionnement des appareils et à l'expérience acquise par les gardiens.

« Les craintes que l'on avait pu concevoir, *a priori*, eu égard à la délicatesse de certains appareils, ne se sont pas réalisées dans la pratique. Les accidents ont été rares, les extinctions courtes et peu nombreuses; deux seulement, pendant cette période de six années, ont eu une durée notable : l'une d'une heure, tient à une avarie de la machine à vapeur; l'autre, de quatre heures, paraît devoir être attribuée à la malveillance. Dans ces circonstances, il semble qu'il n'y a pas trop lieu de se préoccuper des accidents possibles. »

Développement de l'éclairage électrique dans les phares. — Depuis 1863, l'expérience n'a fait que confirmer les appréciations favorables de M. Quinette : les phares de Grinez, Planier, la Palmyre, Calais, Dunkerque et l'Ailly (France) ; cap Lizard (Angleterre), Odessa (Russie), Port-Saïd (Égypte), Razza (Brésil), Roccas (Portugal), etc., ont été pourvus d'appareils électriques, et il est question d'en mettre prochainement dans un assez grand nombre de phares en France, et dans plusieurs phares étrangers.

Voici quelques données sur l'installation des phares électriques, qui nous ont été communiquées par MM. Sautter, Lemonnier et Cie.

Lorsque le feu doit être fixe, la partie optique de l'appareil se compose d'un tambour lenticulaire, de forme convenable, qui rend les rayons horizontaux dans le plan vertical, en les laissant diverger dans le plan horizontal.

Les dimensions de ce tambour varient suivant les machines. Le diamètre de $0^m,50$ (appareil de quatrième ordre) est suffisant pour les dynamos de 25 ampères.

Il convient de l'augmenter quand les courants sont plus puissants, afin d'éloigner le verre du foyer et éviter qu'il ne se brise par suite du trop grand échauffement.

Avec des intensités de 45 ampères, il faut des optiques ayant $0^m,75$ de diamètre, et avec des intensités de 80 ampères, des optiques de 1 mètre de diamètre.

L'augmentation de diamètre des appareils est sensiblement proportionnelle à l'augmentation de diamètre des crayons de carbone entre lesquels se produit l'arc voltaïque, et qui détermine à peu de chose près les dimensions de la lumière électrique; il en résulte que la divergence verticale reste la même dans les trois types d'appareils.

Lorsque le phare doit être tournant, on enveloppe l'optique de feu fixe d'un tambour mobile formé de lentilles droites verticales dont la forme varie suivant l'apparence qu'on veut donner au feu.

Les phares tournants électriques ont sur les phares tournants à l'huile ce très grand avantage, que l'on peut donner aux éclats une durée égale à celle des éclipses.

Dans les phares à l'huile, quand on concentre la lumière sous forme d'éclats, on a deux buts en vue : 1° augmenter l'intensité et par suite la portée du phare; 2° créer une apparence différente de celle du feu fixe.

On ne peut atteindre le premier de ces buts qu'en donnant à l'éclat une durée beaucoup plus courte que celle de l'éclipse, ou, en d'autres termes, en faisant l'angle du faisceau lumineux une faible partie de l'angle sous-tendu par la lentille. Du reste, cet angle dépend de la dimension du foyer lumineux, et on ne peut l'augmenter, soit en augmentant cette dimension, soit en changeant la distance focale de la lentille, qu'en se condamnant à perdre une partie de la lumière, puisque la divergence se produit non seulement dans le plan horizontal, le seul dans lequel elle est utilisée pour prolonger les éclats, mais dans tous les sens.

Avec la combinaison de lentilles verticales et d'un tambour cylindrique, qui sert à produire les éclats dans les phares électriques, on peut, en donnant aux lentilles verticales une courbure convenable, augmenter autant qu'on le veut la divergence des faisceaux dans le plan horizontal seulement et diminuer en proportion la durée des éclipses.

La portée d'un phare électrique de la plus petite dimension reste néanmoins très supérieure à celle des plus puissants phares à l'huile.

On peut s'en convaincre par les chiffres suivants :

L'intensité lumineuse d'un phare de premier ordre à feu fixe avec lampe à six mèches équivaut à 1 105 becs carcel.

L'intensité lumineuse d'un panneau annulaire de 45° d'un phare de premier ordre tournant, avec lampe à 6 mèches, équivaut à 9 847 becs carcel. C'est la plus grande intensité lumineuse qu'on puisse obtenir avec un phare à huile.

La divergence du faisceau donnée par ce même panneau est de 7°,7, et la durée de l'éclat est environ le sixième de la durée de l'éclipse qui le précède et qui le suit.

En appliquant au calcul de l'intensité lumineuse des phares électriques les méthodes de M. Allard, et en partant des mesures photométriques, prises dans différentes directions, d'une lampe électrique alimentée par une dynamo Gramme de 25 ampères, on trouve que l'intensité lumineuse d'un phare électrique de $0^m,50$ de diamètre à feu fixe équivaut au moins à 20 000 becs carcel.

Cette même lumière, concentrée au moyen de lentilles droites mobiles, en faisceaux ayant une divergence telle que la durée des éclipses soit égale à celle des éclats, équivaudra à 40 000 becs carcel, c'est-à-dire qu'elle sera quatre fois plus intense que celle des plus puissants phares à l'huile, avec une durée d'éclipse beaucoup moindre.

Avec une dynamo Gramme de 45 ampères, l'intensité lumineuse d'un phare électrique de $0^m,75$ de diamètre sera d'environ 60 000 becs ou 100 000 becs pour le feu fixe (suivant que la machine sera couplée en tension ou en quantité) et de 160 000 ou 320 000 becs pour le feu tournant.

Les chiffres donnés pour les feux tournants correspondent, dans les trois types, à une durée d'éclats égale à la durée des éclipses.

On conçoit que, disposant d'une telle quantité de lumière, on n'ait pas à se préoccuper de concentrer plus ou moins les faisceaux, afin d'augmenter ainsi la portée du phare. Le seul objet des lentilles mobiles des appareils tournants est alors de produire

des apparences caractéristiques qui distinguent nettement chaque phare des phares voisins.

L'emploi de la lumière électrique et celui des groupes d'éclats (beaucoup plus faciles à réaliser avec cette lumière qu'avec les lampes à huile) fournit un nombre d'apparences suffisant pour que l'on puisse se dispenser de faire figurer parmi les caractères distinctifs d'un phare tournant, la durée de l'intervalle qui sépare les apparitions de deux éclats successifs.

Chaque phare dit son nom plus vite, plus nettement, et sans obliger l'observateur à consulter sa montre.

Enfin si le nombre des apparences réalisées avec la même lumière blanche paraît insuffisant, on peut recourir à la lumière rouge, ou, ce qui est toujours préférable, à une combinaison d'éclats blancs et d'éclats rouges, sans craindre de trop diminuer la portée du feu, qui, même après la perte causée par la coloration, restera supérieure à celle des plus puissants appareils à huile.

Expériences pour augmenter la portée des feux. — Le nombre des phares éclairés électriquement n'est pas encore très grand, et il ne s'augmentera pas notablement tant qu'on fera usage de l'arc voltaïque et des formes d'optiques actuellement pratiquées. Avec ces seuls moyens, le véritable progrès réalisé par la lumière électrique consiste à diminuer le nombre de jours de brouillard pendant lesquels les phares ne sont pas visibles.

Mais on n'a pas augmenté les distances de projection qui atteignent déjà avec l'huile les portées géographiques. Pour beaucoup d'emplacements le coût de l'installation et de l'entretien des machines n'a pas paru justifié par les avantages à obtenir. Si l'on pouvait créer des feux électriques dépassant la portée géographique, les choses prendraient une nouvelle face. Une tentative en ce sens a été faite par MM. Sautter, Lemonnier et Cie au phare de Berdiansk (mer d'Azow). L'appareil optique était disposé de telle sorte qu'une partie de la lumière était envoyée verticalement sur les nuages. L'éclairement particulier que prenait alors le ciel signalait aux navigateurs la position du phare avant que leur œil eût atteint le plan d'horizon tangent à la cour-

bure de la terre et passant par le foyer lumineux du phare. La portée était notablement augmentée, mais des circonstances locales ont empêché cette disposition d'être généralisée.

Expériences exécutées en 1885 au South Foreland (Angleterre). — L'administration supérieure des phares de la Grande-Bretagne a exécuté en 1885 des expériences très précises dans le but de déterminer la valeur comparative de l'huile, du gaz et de l'électricité dans la création des feux.

Les lampes à huile étaient du système de sir John Douglas à 4, 6, 7 et 8 mèches concentriques. A surface de flamme égale elles donnent une lumière aussi intense et aussi pénétrante que celle du gaz, avec l'huile minérale de paraffine, de 0,82 de densité, distillée entre 120 et 300 degrés et coûtant 0 fr. 13 le litre.

Les brûleurs à gaz étaient du système Wigham, constitués par des séries de becs disposés en anneaux concentriques se prêtant une mutuelle assistance. Leur intensité variait entre 50 et 350 carcels avec une moyenne de 30 carcels par mètre cube de gaz consommé.

Les régulateurs à arc, au nombre de trois, étaient du système Serrin modifié par M. Berjot. Ils étaient alimentés par trois dynamos à courants alternatifs du système Méritens, ayant chacune 60 aimants permanents disposés en cinq couronnes de 12 aimants. Chaque couronne de l'armature portait 24 bobines à 4 enroulements, de 27 millimètres d'épaisseur et 100 millimètres de largeur. Les 120 bobines groupées en quantité présentaient une résistance de 0,05 ohm. A 600 tours, la chute de potentiel aux bornes s'élevait à 75 volts et l'intensité à 150 ampères ; la dynamo absorbait 10,4 chevaux avec un rendement industriel de 0,82.

Trois tours en bois, désignées par les trois lettres A, B, C, furent installées au nord-ouest du cap de South Foreland, à 50 mètres de distance les unes des autres.

La tour A étant munie de l'appareil électrique, la tour B portait un appareil à gaz Wigham, et la tour C servait aux essais comparatifs de divers appareils au gaz et à l'huile.

Les appareils optiques étaient les mêmes dans les trois tours.

Les enveloppes des lanternes étaient pourvues de lames à feux rouges. Trois postes étaient établis : le premier à 650 mètres, le second à 1 885 mètres et le troisième à 4 000 mètres des tours. Des observateurs y restaient en permanence chaque nuit, tandis que deux membres de la Commission restaient toujours dans le voisinage. Pour de plus grandes distances, on avait le concours des gardes-côtes, des marins sur les bateaux phares, des gardiens de phares, pilotes et matelots de la région. Aussi a-t-on pu recueillir plus de 6 000 observations pendant le cours des expériences.

Voici les conclusions de la Commission :

1° La lumière électrique, telle qu'elle a été produite sur la tour A, s'est montrée la plus puissante par tous les temps, et c'est elle qui pénètre le plus loin dans le brouillard.

2° Au point de vue des applications, il y a égalité de lumière, par tous les temps, entre la lumière du gaz comme elle a été appliquée dans le système de brûleurs de M. Wigham, avec quatre couronnes superposées, et la lumière de l'huile, comme elle a été appliquée dans le système de brûleurs à six mèches de M. Douglas, avec trois étages de becs, les deux feux étant vus à travers un appareil lenticulaire tournant ; mais le foyer à gaz à quatre couronnes est un peu meilleur que le foyer à huile à trois étages.

3° Quand on voit les feux à travers des lentilles fixes, la supériorité de la disposition ci-dessus indiquée pour le gaz est incontestable. La plus grande surface des flammes et le rapprochement donnent un faisceau plus compact et plus intense que celui des becs à huile beaucoup plus espacés entre eux.

4° Pour l'éclairage des phares par le gaz, les brûleurs du système Douglas sont plus efficaces et plus économiques que ceux du système Wigham.

5° Pour les nécessités ordinaires du service, l'huile minérale est la plus convenable et la plus économique des matières éclairantes, et pour les points avancés dans la mer, les atterrages, les caps importants, partout où il faut une très puissante lumière, l'électricité présente les plus grands avantages.

Expériences de M. Allard sur la portée des phares. — M. Allard, Inspecteur général des phares, a fait une série d'expériences et de calculs qu'il a consignés dans un mémoire « *Sur l'intensité et la portée des phares* », duquel nous extrayons les chiffres suivants :

En prenant à titre d'exemple un phare de premier ordre à l'huile minérale, comme celui de Dunkerque, donnant un éclat de 6 250 carcels, et en supposant un appareil 20 fois plus puissant, c'est-à-dire de 125 000 carcels, il est facile de déterminer la portée des deux foyers.

Par une transparence moyenne de l'atmosphère, les portées correspondant à ces deux intensités lumineuses sont 53 kilomètres et 75,40 kilomètres ; on gagne 42 pour cent. La portée est ainsi augmentée dans le rapport de 1 à 1,42 lorsque l'intensité l'avait été dans le rapport de 1 à 20.

Par un état de l'atmosphère moins transparent, les portées sont de 24 et de 32 kilomètres ; on ne gagne plus que 34 pour cent.

Enfin par un temps de brouillard qui règne pendant 10 nuits environ par an, les portées sont respectivement réduites à 3,7 et 4,6 kilomètres. On gagne à peine 24 pour cent en multipliant par 20 l'intensité du phare.

Au point de vue de la pénétration du brouillard, toutes les lumières se valent : on a longtemps cru que les phares à huile avaient dans ce cas, un grand avantage sur les phares électriques ; mais de nouvelles expériences très précises ont démontré que cet avantage ne dépassait pas 1 pour cent, qu'il pouvait donc être considéré comme nul.

CHAPITRE XXIV

APPLICATIONS AUX OPÉRATIONS MILITAIRES

Premières applications. — La première idée de l'application de la lumière électrique à l'art militaire remonte à la guerre d'Italie, en 1859. Une Société fut formée à cette époque pour exploiter, en vue de cette application, la pile de Grenet, et l'on put voir circuler dans les rues de Paris une voiture portant une pile et une lumière électrique. La paix de Solférino mit fin à ces expériences dont, avec les moyens alors connus de produire l'électricité, on n'aurait pu attendre des résultats pratiques sérieux.

En 1867, à l'Exposition universelle de Paris, l'Autriche avait envoyé une parabole métallique de grande dimension, ayant une lampe électrique à son foyer; à côté, étaient exposés plusieurs dessins montrant diverses applications qui pouvaient être faites de cet appareil à l'attaque ou à la défense des places, ou à d'autres opérations militaires.

Les premières applications pratiques que nous connaissons datent de la guerre franco-allemande, du siège de Paris. On n'obtint, à cette époque, aucun résultat saillant. Cela tient, d'une part, à ce que, pendant cette opération militaire, les attaques par l'artillerie n'eurent lieu qu'à de grandes distances et à ce que des tentatives d'attaque de vive force furent extrêmement rares; d'autre part, à ce que les moyens dont on disposait pour produire la lumière et la projeter à distance étaient hors de proportion avec la portée des engins d'artillerie. Les producteurs d'électricité étaient des piles et la machine de l'Alliance (la machine Gramme était à peine inventée); les appareils, des projecteurs, des réflecteurs paraboliques ou sphériques de petits diamètres, quelques

combinaisons plus ou moins ingénieuses de lentilles et un projecteur lenticulaire.

Ces efforts montrèrent, dès lors, qu'il était nécessaire d'avoir des appareils mobiles, pouvant opérer hors de l'enceinte de la place et susceptibles d'accompagner certaines opérations. A cet effet, on étudia des piles portatives, très ingénieuses d'ailleurs, mais dont les dimensions encore encombrantes ne permettaient pas un emploi courant.

Si la lumière électrique employée dans ces conditions ne parut pas aux assiégés d'une grande utilité, il est probable que les assiégeants n'en jugèrent point ainsi, car dès cette époque, les Allemands s'en occupèrent et l'on voyait figurer en 1873, à l'Exposition de Vienne, dans leur section, un appareil de projection de lumière électrique approprié aux usages militaires et alimenté par une machine dynamo-électrique de Siemens, en même temps que, quelques travées plus bas, MM. Sautter, Lemonnier et Cie exposaient, dans la section française, un projecteur destiné à la marine qu'une machine Gramme alimentait.

L'année précédente, le Danemark et la Russie s'étaient déjà servis d'engins analogues que nous leur avions fournis pour éclairer des passes défendues par des torpilles.

Depuis cette époque, des travaux sérieux ont été faits, et les résultats obtenus dès 1887 par une commission d'officiers français au fort du Mont-Valérien, permettent de compter l'éclairage électrique parmi les moyens utiles de défense dont doivent disposer une place de guerre, un fort, un corps d'armée.

Nous citerons quelques-uns de ces résultats dont nous avons nous-même été témoin. En employant la machine Gramme à 4 colonnes, donnant, couplée en tension, 1 500 becs carcel, et couplée en quantité 2 500 becs carcel, on rendit visibles, pour des observateurs placés à côté de l'appareil de projection de lumière, des mouvements de troupes, des maisons, des chariots, à une distance de 5 000 mètres; on put, à une distance de 2 700 mètres, apercevoir des soldats et reconnaître qu'ils s'escrimaient à la baïonnette.

Si l'on remarque que, pour un observateur placé près de l'appareil projecteur, la lumière traverse deux fois la distance qui

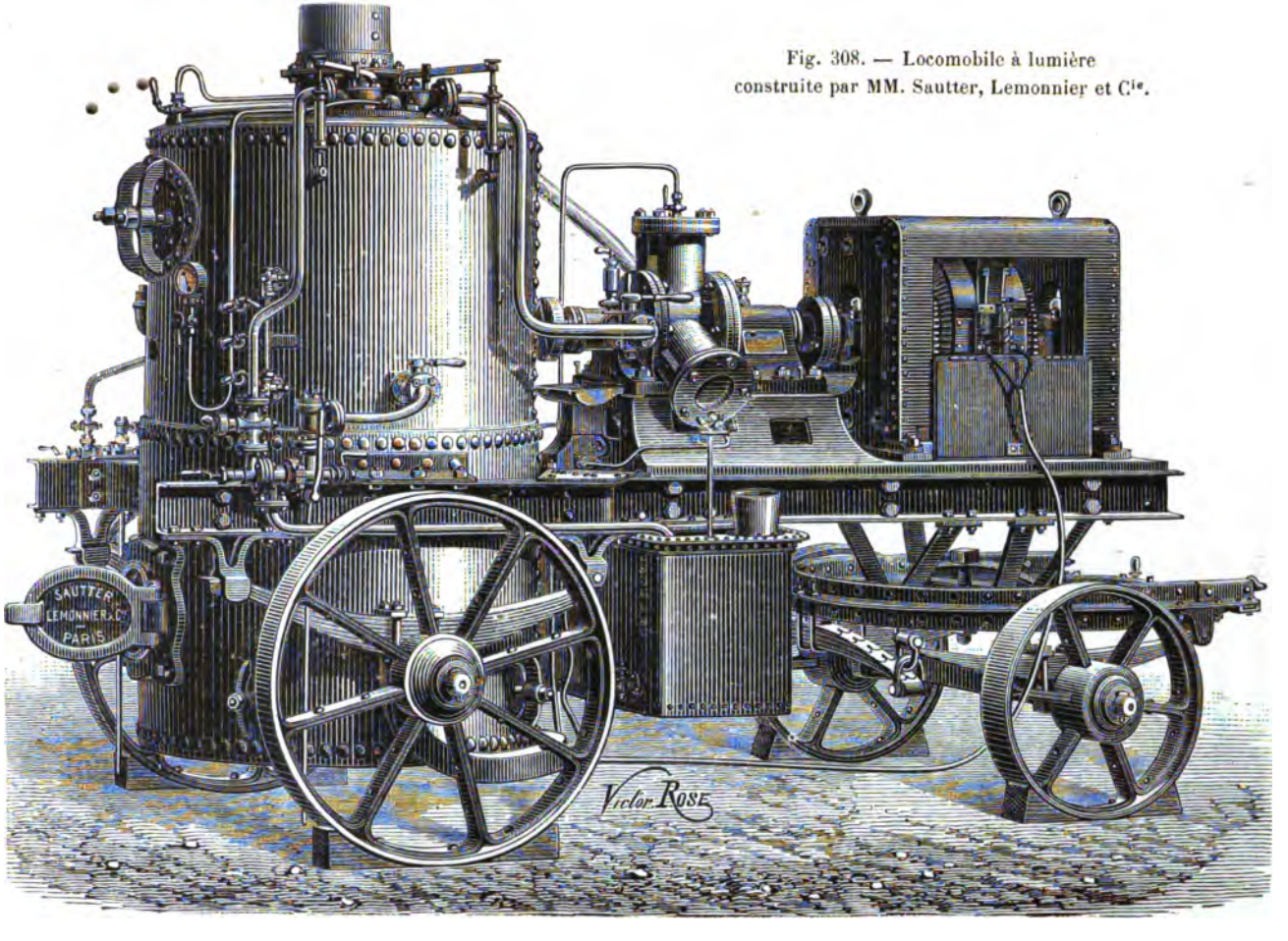


Fig. 308. — Locomobile à lumière construite par MM. Sautter, Lemonnier et Cie.

le sépare du terrain éclairé et que l'intensité de la lumière de retour est inversement proportionnelle, non plus au carré de la distance, mais à sa quatrième puissance, abstraction faite de l'absorption atmosphérique qui, de son côté, agit comme si la distance était doublée, on reconnaîtra que la portée de la vue peut être notablement augmentée en plaçant l'observateur à 1 000 ou à 1 500 mètres du point à éclairer, laissant l'appareil projecteur à 3 ou 4 kilomètres en arrière, à l'abri de l'artillerie ennemie.

Les appareils employés par le gouvernement français pour l'éclairage des places fortes et la défense des côtes se composent d'une dynamo Gramme, d'un projecteur Mangin, d'une machine Brotherhood, d'une chaudière Field.

La dynamo Gramme a des électro-aimants plats ; elle donne, couplée en tension, une lumière de 2 500 becs carcel, et couplée en quantité une lumière de 4 500 becs.

Cette dynamo tourne à des vitesses de 250 à 300 tours, couplée en tension, et de 500 tours couplée en quantité.

A cause de sa destination, cet ensemble : dynamo, moteur et chaudière, peut être installé à demeure sur un socle en maçonnerie ou mieux, comme le représente la figure 308, monté sur un chariot en fer muni de 4 roues également en fer. La chaudière, dans cette dernière disposition, porte une cheminée mobile et assez basse pour pouvoir passer sous les voûtes des traverses.

Le projecteur employé est celui du colonel Mangin. Il est établi sur un chariot bas et léger (Fig. 309), qui permet de le porter sur le point de la fortification ou de la côte le plus convenable.

Ce projecteur, décrit en détail dans le *Mémorial de l'officier du génie*, se compose essentiellement d'un miroir de verre concave convexe, à surfaces sphériques de rayons différents. La face convexe est réfléchissante et est recouverte d'argent. Ce miroir, qui a $0^m,90$ de diamètre, jouit de la remarquable propriété de ne pas avoir d'aberration de sphéricité, malgré la presque égalité entre son diamètre et sa distance focale.

Le faisceau qui sort du projecteur Mangin, quand la lampe est au foyer de la lentille, est parfaitement limité par une circonférence presque sans pénombre, et n'a de divergence que celle

due à la dimension de la source lumineuse, c'est-à-dire 2 degrés 1/2 environ. La lumière est uniformément répartie sur toute sa surface.

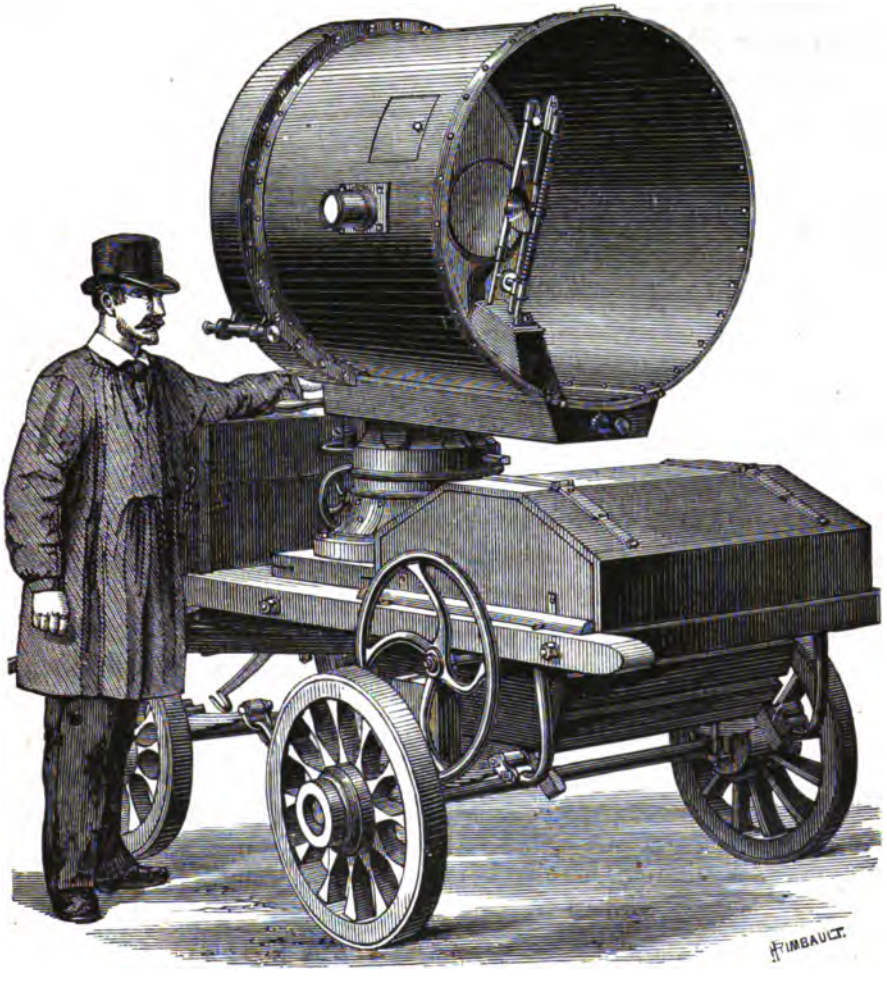


Fig. 309. — Projecteur Mangin monté sur chariot.

Cet appareil possède la propriété de pouvoir, par le simple déplacement du foyer, lequel s'effectue au moyen d'une vis ordinaire, éclairer à volonté un espace considérable ou de concentrer toute son intensité sur un même point. Cette propriété le rend éminemment propre à un certain nombre d'opérations militaires.

Le projecteur Mangin est souvent installé sur un support à poste fixe, comme il est indiqué (Fig. 310).

MM. Sautter, Lemonnier et Cie ont déjà construit un grand nombre d'appareils photo-électriques pour la marine et la guerre, et, grâce à leur compétence exceptionnelle dans la question, ils ont su combiner les divers organes de ces appareils, de manière à leur assurer un fonctionnement irréprochable.

Nous citerons parmi les principales installations qu'ils ont réalisées, celle destinée à éclairer la passe de la Caraque à Toulon.

Cette passe a 1 800 mètres de large; elle est défendue par 12 torpilles, dont la position est signalée par 12 bouées rouges. Le problème était de trouver à chaque instant un navire partant à toute vapeur de Toulon et cherchant à traverser la passe en divers endroits.

L'expérience a été des plus concluantes.

A peine le navire avait-il franchi le cap qui ferme l'entrée du port, qu'il fut aperçu à plus de 3 000 mètres et, à partir de ce moment, on a pu le suivre, le quitter, le retrouver avec la plus grande facilité.

Ce premier essai terminé, on a voulu se rendre compte du nombre de bouées visibles à la fois. Pour cela on a projeté le faisceau lumineux au pied de la fortification, et l'on a vu nettement la ligne de séparation de l'eau et du sol; puis, élevant peu à peu le faisceau, on a vu successivement la première, la deuxième, la troisième et la quatrième bouée. A ce moment, on a remarqué qu'on pouvait relever le faisceau jusqu'à l'apparition de la douzième bouée, placée à 2 600 mètres, sans perdre de vue aucune des premières, bien que celles-ci ne reçussent pas de lumière directe. Elles étaient éclairées par la lumière que réfléchissaient les corpuscules et les vésicules d'eau répandus dans l'atmosphère.

Grâce à l'intensité de la source lumineuse et à l'exactitude de concentration des rayons que donne le projecteur Mangin, la puissance du faisceau était telle que les corps placés en dehors de son action et à 10 mètres au-dessous de lui, étaient parfaitement visibles.

On fit ensuite une troisième expérience.

La porte divergente fut placée devant le faisceau lumineux, qui se trouva étalé et qui permit de voir, de l'autre côté de la passe, à 3 000 et 3 500 mètres, un champ de plus de 200 mètres

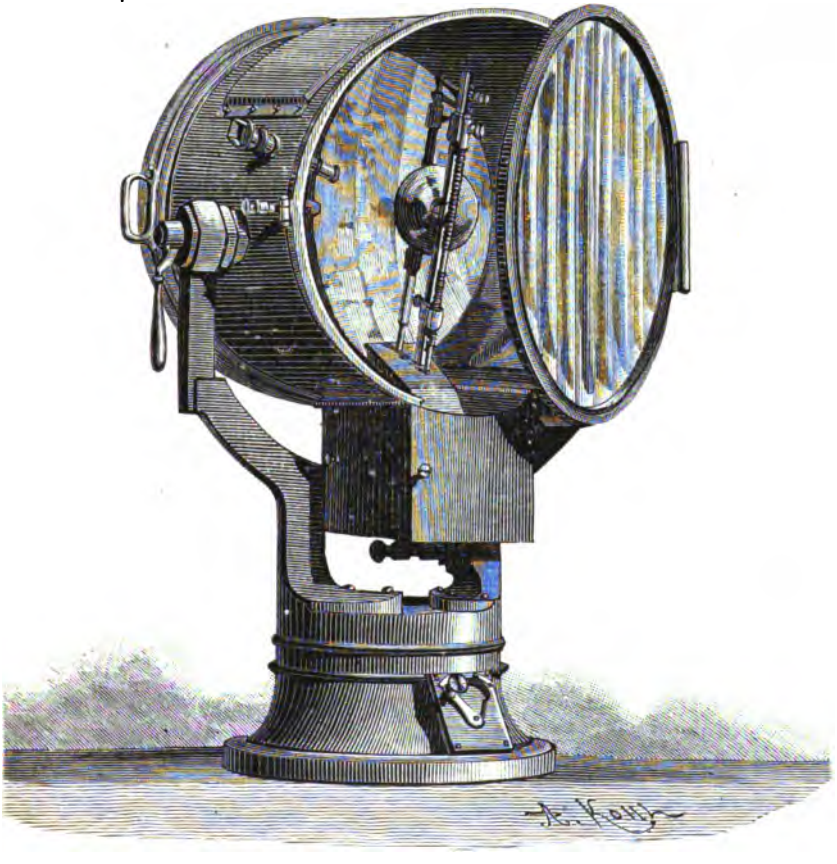


Fig. 310. — Projecteur Mangin à poste fixe.

de longueur, éclairé suffisamment pour rendre faciles toutes les opérations de l'artillerie.

Enfin, on voulut reconnaître quelle portée maxima on pouvait atteindre. La porte divergente fut supprimée et le faisceau concentré fut envoyé sur les hauteurs qui dominent la ville de Toulon. Ce fut avec la plus grande satisfaction que les observateurs, munis de bonnes jumelles et placés près de l'appa-

reil optique, découvrirent la caserne du Mont-Faron, située à 9 500 mètres de distance et à 500 mètres d'altitude.

Les conclusions furent unanimes. Il est certain que l'ensemble de ces appareils constituait une protection efficace contre les bateaux torpilles qui essayeraient de franchir la passe. Ces bateaux seraient découverts à temps pour être battus par les feux du fort, et des officiers, placés dans des postes spéciaux pourraient provoquer l'explosion des torpilles noyées, au moment précis où lesdits bateaux ennemis arriveraient dans leur rayon d'action. Ces expériences ont été faites par une nuit sombre. Une légère brume empêchait l'atmosphère d'être absolument pure.

L'efficacité des appareils Gramme et Mangin a été également reconnue dans des expériences faites pour l'éclairage de la passe nord du port de Cherbourg.

Plusieurs bateaux devaient franchir cette passe et être reconnus de l'endroit où se trouvaient placés les appareils photo-électriques. La plupart furent parfaitement reconnus ; puis le jet de lumière fut dirigé constamment sur l'un d'eux. Quand le capitaine qui commandait ce bâtiment vint près des observateurs, il leur adressa de vifs reproches : la lumière électrique l'avait empêché de gouverner et il avait failli, à plusieurs reprises, se heurter dans d'autres embarcations. On peut conclure de ce fait, que les navires ennemis sur lesquels se concentrerait un semblable faisceau lumineux, ne pourraient pas entrer dans le port et seraient obligés de virer de bord.

Pendant la guerre turco-russe, les bords de la mer Noire ont été protégés par des appareils semblables qui ont fonctionné toutes les nuits, au port d'Odessa notamment.

Pour les signaux de guerre, M. Gramme a étudié une machine de très petite dimension, qu'on peut faire mouvoir à bras. Cette machine, actionnée par quatre hommes, produit une lumière équivalente à 50 becs carcel, environ. Elle a des électro-aimants plats, est montée sur chariot et reçoit le mouvement de deux manivelles agissant sur un double jeu d'engrenages. Sa construction est rustique et convient éminemment au rôle qu'elle est appelée à remplir.

État actuel du matériel. — Pour les forts, on se sert de petites dynamos qui alimentent un certain nombre de lampes à incandescence dans les casemates et un projecteur à arc, placé extérieurement. Le peu de place et d'eau dont on dispose, force à faire usage de machine motrice et de dynamo accouplées directement et consommant peu de vapeur pour leur puissance mécanique, laquelle dépasse rarement 10 chevaux. Le projecteur Mangin de 0^m, 40 est celui qui rend les meilleurs services ; c'est d'ailleurs le plus employé.

En Angleterre, on s'est préoccupé d'abriter ce projecteur des coups de l'artillerie ou des balles, en le mettant dans une casemate et en envoyant un faisceau réfléchi sur un miroir placé à l'intérieur. Ce miroir peut se remplacer presque instantanément sans que l'opérateur ait besoin de sortir de sa casemate.

Le matériel mobile de la maison Sautter, Lemonnier et Cie est ordinairement groupé sur une locomobile analogue à celle représentée (Fig. 308), mais supportant en outre un projecteur Mangin de 0^m, 40 et une bobine sur laquelle est enroulé un câble souple à deux conducteurs.

Cet appareil est assez mobile pour accompagner les différents corps d'armée et assez puissant pour pousser les investigations jusqu'à 3 000 mètres du point où il est arrêté. Il peut servir accessoirement pour éclairer des travaux d'établissement de ponts ou pour établir par projections sur les nuages ou directement, des communications télégraphiques entre deux corps d'armée, à des distances pouvant atteindre 200 kilomètres.

Le poids de la locomobile avec tous ses accessoires est de 3 tonnes, le fourgon contenant l'eau et le charbon pèse 1 200 kilog.

Quand l'appareil est utilisé à la recherche des blessés, il est préférable d'avoir un champ éclairé plus étendu, avec une portée moindre ; à cet effet, le projecteur est muni à son avant d'une porte composée de lentilles plano-cylindriques qui étalent le faisceau horizontalement. On peut y adjoindre, dans certains cas, des miroirs auxiliaires de M. Burstyn, officier de la marine autrichienne, qui empruntent au faisceau principal une partie de sa lumière pour la porter dans d'autres directions ; avec le secours

des miroirs Burstyn, *on peut éclairer plusieurs points simultanément.* L'appareil étant mobile autour de deux axes à angle droit, l'opérateur peut diriger le faisceau dans une direction quelconque de l'espace.

MM. Sautter, Lemonnier et Cie construisent également un grand appareil destiné aux travaux de siège, soit pour l'attaque, soit pour la défense.

Dans l'attaque, pour inspecter les travaux de l'assiégé, éclairer les points que doit battre l'artillerie, découvrir et prévenir les sorties. Dans la défense, pour renseigner sur les mouvements de l'assiégeant, avant et après l'investissement, démasquer l'établissement des tranchées de l'attaque, découvrir et arrêter les attaques de vive force.

A ce grand appareil est adjoint un matériel de pylones mobiles qui permet d'installer très rapidement (en une heure environ) un éclairage électrique d'une grande surface d'éclairement, pour une gare de débarquement, un chantier de port, etc., au moyen de 6 foyers à arc voltaïque.

L'appareil complet se compose de trois chariots : le premier ne porte que la chaudière, la machine à vapeur et une dynamo Gramme de 80 ampères ; le second porte un projecteur Mangin de $0^m,60$ de diamètre, les lampes électriques, les pylones et un câble souple à deux conducteurs ; le troisième contient la provision d'eau et de charbon.

Le projecteur Mangin est descendu pour le service et installé sur un socle mobile en treillis, analogue à celui représenté (Fig. 311), mais de plus grandes dimensions.

Ce matériel, relativement très condensé, permet aux officiers bien exercés et placés dans une situation convenable, d'apercevoir, par une nuit obscure, mais sans brume, des objets de couleur claire, à une distance de 4 000 mètres.

Pour la défense des côtes et des passes, on a adopté des projecteurs Mangin de $0^m,90$, munis de portes donnant au faisceau des divergences déterminées et éclairant généralement de 6° à 25° de manière que, quelle que soit la rapidité de marche du navire surveillé, il puisse être visé pendant le temps qu'il reste dans le faisceau lumineux. Ce projecteur est monté

sur un socle garni de roues et circulant sur un chemin de fer.

Le courant est produit par une dynamo Gramme débitant 100 ampères sous 60 volts. Pour obtenir tout l'effet possible de ce projecteur, dont la portée est de 5 000 mètres, l'observateur

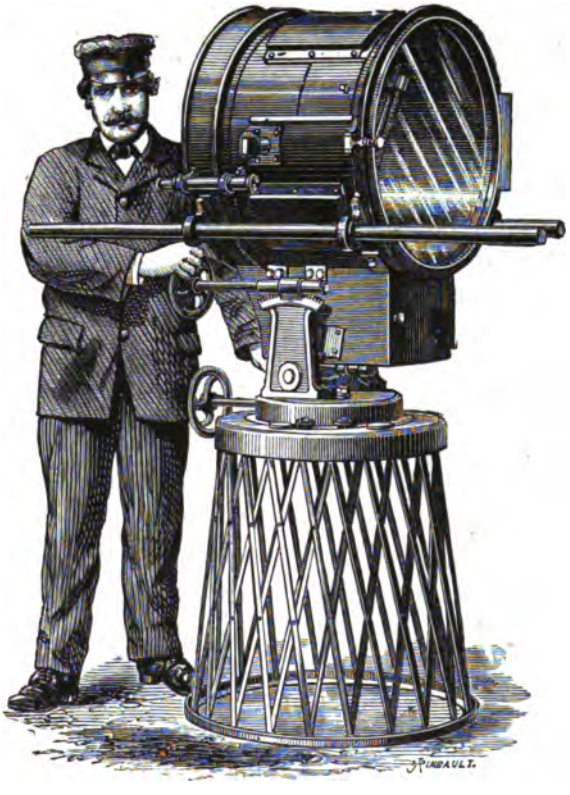


Fig. 311. — Projecteur Mangin sur socle en treillis.

doit être placé en avant et relié à l'homme chargé de la manœuvre par un téléphone.

Applications aux navires de guerre. — Les applications aux navires de guerre des appareils de projection lumineuse ont été précédées de quelques installations sur des bâtiments divers que nous allons rappeler en quelques mots.

En 1867, M. Berlioz, alors directeur de la société *l'Alliance,*

installait à bord du *Jérome-Napoléon,* une machine électrique avec un projecteur placé à quelques mètres au-dessus du pont et destiné à diriger la lumière sur l'horizon. Le succès de cette première application fit beaucoup de bruit et amena d'autres commandes à la même société. Parmi les applications qui suivirent, nous citerons celles du *Saint-Laurent,* du *Forfait,* du *d'Estrées,* et celle plus récente de la *France,* de la Société des Transports maritimes de Marseille. Eh bien, à l'exception de la dernière, dont nous ignorons le sort, il ne reste rien de toutes ces installations, et nous avons vu à Saint-Nazaire la carcasse tout oxydée de l'appareil électrique du *Saint-Laurent.*

Cependant les machines de l'*Alliance* étaient bonnes, les rapports des capitaines sur leur emploi étaient favorables, et ce n'est malheureusement pas que les sinistres maritimes soient devenus plus rares.

Les causes de l'insuccès viennent surtout de ce qu'on n'a pas eu assez de constance dans les expériences, qu'on s'est arrêté au moindre inconvénient qui a surgi, au lieu de chercher à l'annuler. Le déplacement dans les commandements a également nui au maintien des appareils à bord.

Il y a aussi le point de vue économique, qui, ici, comme partout ailleurs, a joué un grand rôle : on espérait qu'en augmentant la sécurité, les compagnies d'assurances feraient une réduction dans les primes ; ce résultat n'ayant pu être obtenu, on est bientôt arrivé à considérer l'appareil électrique comme un objet de luxe. De là, l'abandon du système essayé souvent à grands frais.

En moins de deux ans, nous venons, à notre tour, d'installer des machines Gramme à bord de plusieurs navires de guerre français, danois, russes, anglais et espagnols ; nous reprenons à la Compagnie Transatlantique la suite d'expériences depuis longtemps interrompues, et nous avons l'espoir de voir nos efforts aboutir à la réalisation du problème [1].

Jusqu'à présent nous n'avons éprouvé aucun mécompte et

1. Nous écrivions le paragraphe précédent et les pages suivantes qui s'y rattachent, en 1879, dans la 2e édition de cet ouvrage.

nous travaillons sans cesse à améliorer nos premières dispositions afin d'en tirer encore un meilleur parti.

Parmi les applications récentes, nous citerons celles faites par MM. Sautter, Lemonnier et Cie sur le *Livadia* et le *Pierre-le-Grand*, de la marine russe; le *Richelieu* et le *Suffren*, de la marine française, etc., etc., et celles faites par M. Dalmau à bord des navires cuirassés espagnols *Numancia* et *Vitoria*.

Le *Livadia* est muni d'une machine Gramme donnant 500 becs carcel environ, avec laquelle on distingue nettement des édifices à une distance de 3 000 mètres. Plusieurs fois, il est entré la nuit et s'est mis à quai dans les ports d'Odessa et de Constantinople, aussi facilement que s'il eût fait jour.

La lumière électrique lui fut particulièrement utile une nuit, à l'entrée de l'hiver, où le froid continu, qui régnait depuis plusieurs jours, s'étant encore accru pendant sa navigation, il craignait d'être pris par les glaces. Il fallait aller chercher de suite un refuge dans une rivière à l'entrée de laquelle la barre ne laisse qu'un chenal balisé d'une vingtaine de mètres. Grâce à son projecteur, il distingua parfaitement le chenal et atteignit à toute vitesse l'abri de la rivière.

A bord de tous ces navires, l'éclairage électrique a été utilisé avec grand succès pour renouveler la provision de charbon sans attendre le jour.

La marine française a fait installer à bord du *Richelieu* et du *Suffren* des machines Gramme très puissantes commandées directement par une machine Brotherhood et envoyant la lumière par des projecteurs lenticulaires. De nouvelles installations vont suivre.

Le nouvel engin d'attaque, la *torpille*, portée ou remorquée, met, on le sait, les plus gros cuirassés à la merci d'un de ces rapides canots porte-torpilles. L'expérience a en effet démontré que, quelque vigilante que soit la surveillance à bord d'un navire de haut bord, une attaque nocturne par une chaloupe porte-torpille réussit souvent. Le bateau rapide filant 15 ou 18 nœuds est arrivé à son but avant qu'on ait soupçonné sa présence. Il en est autrement si le navire, but de l'attaque, peut explorer l'horizon dans toutes les directions à une distance de deux à trois milles.

Il voit l'ennemi une dizaine de minutes avant d'être atteint, c'est assez pour se défendre, si même cette attaque n'est pas empêchée par le seul fait qu'elle est découverte.

Les installations à bord des navires étaient complétées par un projecteur lenticulaire, ayant pour fonction de concentrer en un faisceau cylindrique les rayons émanés de la lampe, et de donner à l'opérateur les moyens faciles de diriger la lumière sur un point quelconque de l'espace. A cet effet, l'arc voltaïque d'un régulateur Serrin était placé au foyer d'une lentille de Fresnel de 0 m. 60 de diamètre, composée de 3 éléments dioptriques et 6 éléments catadioptriques.

La lampe et la lentille étaient portées dans un tambour en fonte, mobile autour de son axe vertical et oscillant autour de son axe horizontal, sans que les positions relatives de la lampe et de la lentille changent; d'où il résultait qu'en repos comme en mouvement, le point lumineux restait au foyer optique et ses rayons continuaient à être envoyés dans l'espace, en faisceau, suivant l'axe optique de la lentille.

Ce projecteur possède des mouvements tournants et oscillants pouvant être successifs ou simultanés, et ayant pour objet de diriger l'axe optique et, par suite, le faisceau lumineux dans toutes les directions et sous toutes les inclinaisons.

L'opérateur était placé debout derrière le projecteur, il effectuait des manœuvres au moyen de poignées disposées très commodément.

Par le seul fait de son introduction dans l'appareil, la lampe était mise dans le circuit électrique et ne cessait de s'y trouver, quels que fussent les mouvements imprimés au cylindre mobile.

Une petite lunette, placée sur un des tourillons du cylindre, projetait sur un écran de verre dépoli l'image des charbons et permettait de suivre la marche de la lampe, sans qu'il fût nécessaire d'ouvrir le cylindre. Une vis faisait varier la position de la lampe lorsqu'il s'agissait de ramener au foyer le point lumineux ou de l'en écarter pour produire une divergence plus ou moins grande du faisceau. Une deuxième vis et une manette servaient à maintenir le faisceau dans une direction déterminée : la vis en

arrêtant le mouvement tournant, la manette en empêchant l'oscillation.

Pour les usages de l'artillerie, une disposition particulière permettait de déplacer lentement, au moyen de vis tangentes, le faisceau lumineux, afin de l'amener exactement dans une direction déterminée à l'avance.

L'appareil complet était placé sur un socle en fonte qui se fixe sur la passerelle d'un navire, à l'intérieur d'une casemate dans un fort, ou sur un chariot mobile. A l'aide d'un interrupteur, on supprimait à volonté le courant sans qu'il fût utile d'arrêter la machine.

La machine électrique et son moteur étaient installés dans la chambre des machines ou en tout autre emplacement. La vapeur était empruntée aux chaudières auxiliaires.

On pouvait ainsi avoir de la lumière au mouillage et sans qu'il fût nécessaire d'être sous pression dans les grandes chaudières.

L'emplacement affecté au projecteur lenticulaire a beaucoup varié. Installé d'abord sur la passerelle du commandant, on a préféré sur le *Livadia* mettre le socle à poste fixe tout à fait à l'avant et y monter l'appareil optique quand on voulait éclairer. A bord de la frégate cuirassée *la Numancia*, de la marine espagnole, on a disposé à l'avant une plate-forme; c'est sur cette plate-forme qu'est mis le projecteur et que se tient l'officier qui le manœuvre.

Cette disposition nous paraît avantageuse : elle permet à l'observateur d'être placé en contre-bas de la zone du faisceau et de ne pas être gêné par lui ; mais elle n'est possible que lorsque l'avant ne porte pas de beaupré.

Sur le *Téméraire*, de la marine royale anglaise, on a placé deux projecteurs, l'un à tribord, l'autre à babord.

On emploie également la lumière électrique sur les canots à vapeur employés en vedette et munis d'un appareil de projection permettant, soit de fouiller l'horizon à une distance de 1500 mètres, soit de correspondre par rayons lumineux avec le navire dont ils dépendent.

Le peu de place et le peu de force dont on peut disposer sur

ces canots exigent des appareils très légers, peu encombrants et par suite beaucoup moins puissants que ceux dont nous avons parlé.

L'appareil projecteur n'est plus l'appareil lenticulaire, mais bien le projecteur Mangin de 0^m30 de diamètre, installé à l'avant de la chaloupe ; l'opérateur peut diriger les rayons dans tous les sens.

Le courant électrique est porté de la machine à la lampe par un câble simple à double conducteur et assez isolé pour qu'il puisse être dévidé hors du canot et tremper dans la mer afin de ne pas gêner la circulation à bord.

Matériel actuel des navires de guerre. — Plus l'attaque des torpilleurs est redoutée, plus, à bord des navires de guerre, on a multiplié les projecteurs et augmenté leur puissance.

La marine française, qui a eu l'initiative de ces installations, est encore aujourd'hui la mieux dotée par le nombre et par les judicieuses appropriations du matériel électrique.

Il n'y a, en ce moment, que les canots à vapeur et les torpilleurs qui ne possèdent qu'un seul projecteur. Sur les croiseurs on en met deux au minimum, l'un à babord, l'autre à tribord ; sur les cuirassés, on en met au moins quatre, un de chaque bord, un à l'avant et le quatrième à l'arrière.

Lorsque le projecteur est unique et qu'on peut conserver l'indépendance complète de la source d'électricité qui l'alimente, on fait usage d'une dynamo accouplée directement avec un moteur Brotherhood. Les types les plus en usage sont ceux qui desservent le projecteur de $0^m,30$ avec un courant de 13 ampères pour les canots, ceux qui desservent le projecteur de $0^m,40$ avec un courant de 25 ampères pour les torpilleurs, et enfin ceux qui alimentent le projecteur de $0^m,60$ avec un courant de 45 ampères pour les gros navires.

Les faisceaux lumineux qui émanent de tous ces projecteurs peuvent être étalés horizontalement, suivant les besoins des recherches, par l'adjonction d'une porte divergente, composée de lentilles cylindriques plano-convexes, étendant beaucoup le champ d'exploitation.

Certaines puissances maritimes ont cru efficace de protéger leurs navires par une ceinture continue de lumière obtenue au moyen d'une série de projecteurs à champs juxtaposés. C'est pour obtenir ce résultat que sur le cuirassé *Ivat*, de la marine danoise, on va installer 8 projecteurs donnant des faisceaux ayant chacun une amplitude de 45°.

Les dispositions d'attaque sont bien secondées par les projections lumineuses. La surveillance et le bombardement d'Alexandrie par la flotte anglaise ont été puissamment aidés par les appareils Mangin. Le débarquement à Ismaïlia, pendant la même guerre, s'est effectué la nuit avec des projecteurs de la flotte mis à terre.

Dans la guerre de Tunisie, lors du débarquement devant Sfax, la prise des batteries qui défendaient la côte, s'effectuèrent à la lumière électrique. Les troupes, éclairées par les faisceaux des projecteurs, passaient des navires dans les chaloupes. Les faisceaux les accompagnaient jusqu'au point de débarquement et éclairaient la descente à terre. L'opération se fit avec une telle rapidité que la défense n'eut pas le temps de s'organiser.

La campagne de Chine est trop récente pour qu'il soit utile de rappeler tout le parti que l'amiral Courbet sut tirer des nouveaux engins devant Foutchéou, surtout pendant les nuits qui suivirent la sanglante répression, alors qu'il fallait prendre à revers les forts et regagner la mer en fermant les passages.

L'usage des projecteurs Mangin est devenu général dans les marines militaires. MM. Sautter, Lemonnier et Cie avaient livré plus de 1 500 de ces appareils en 1887; la marine française en possède 400 à elle seule.

* * *

CHAPITRE XXV

INSTALLATIONS DOMESTIQUES

Avantages de l'éclairage électrique dans les appartements. — Dans une conférence faite en 1886, à la *Société des Arts de Londres,* M. Preece, après avoir indiqué comment il fallait établir les moteurs à gaz, les dynamos, les accumulateurs, les conducteurs, les lampes à incandescence et tous les appareils accessoires pour assurer le succès d'une installation d'éclairage électrique essentiellement privée, a déclaré que sa propre installation, faite suivant les principes qu'il venait d'énoncer, lui occasionnait une dépense annuelle de 1 500 francs alors que l'éclairage au gaz ne lui coûtait anciennement que 750 francs. Puis il s'est empressé d'ajouter : « Si maintenant nous mettons en regard de ce supplément de dépense la valeur d'une lumière fixe, de la pureté de l'air, de la suppression de la chaleur, des allumettes, de la bougie et de l'huile, le bien-être des gens, la conservation des peintures, des motifs de décoration et des livres, la propreté, la gaieté, la santé, la prolongation de l'existence, il n'y a pas à chercher de quel côté doit pencher la balance. »

Il serait difficile d'énumérer mieux et plus complètement les avantages que présente la lumière électrique sur les autres modes d'éclairage domestique. Nous n'ajouterons donc rien aux réflexions du savant électricien du *Post-Office,* si ce n'est pour développer le point principal de son argumentation, celui qui est relatif à la santé et à la prolongation de l'existence,

Dans ses conversations et dans ses discours publics, M. Preece est souvent revenu sur ce point; il s'est fait l'apôtre du nouvel éclairage et est allé jusqu'au Canada affirmer devant un auditoire

nombreux et sympathique, qu'ayant substitué l'électricité au gaz dans sa maison, il avait la conviction de vivre trois ou quatre années de plus qu'il n'aurait vécu sans cela.

Tout le monde est d'accord sur les inconvénients du gaz employé dans les appartements; il vicie l'air et détériore rapidement les tentures et le mobilier; mais on croit généralement que l'huile ou la bougie sont inoffensives. C'est là une grave erreur, car, à lumière égale, l'huile, la bougie, le pétrole, etc., consomment une plus grande quantité d'oxygène que le gaz lui-même, et l'atmosphère où ces matières servent à l'éclairage devient bientôt aussi pernicieuse.

Pour bien fixer les idées à ce sujet, nous donnerons le tableau établi par M. Hammont sur les quantités d'air vicié, d'oxygène consommé et d'acide carbonique produit, pendant une heure, pour une intensité d'environ 12 bougies, par les différentes substances employées couramment dans l'éclairage des appartements.

MODE D'ÉCLAIRAGE.	OXYGÈNE consommé EN LITRES.	ACIDE carbonique produit EN LITRES.	AIR VICIÉ EN LITRES.	CALORIES DÉGAGÉES.
A l'électricité par incandescence ..	0	0	0	34
Au gaz.....	95	56	450	550
A l'huile.....	130	94	675	580
Au pétrole.....	170	121	931	822
A l'essence minérale.....	180	130	940	830
A la bougie.....	240	175	1 240	940
A la chandelle.....	340	245	1 650	1 260

La lumière électrique par incandescence est donc la seule qui ne consomme pas d'oxygène, la seule qui ne produise pas d'acide carbonique. Son manque de dégagement de chaleur est un avantage en été, et il n'a d'autre inconvénient, en hiver, que d'augmenter les frais de chauffage de l'appartement.

Nous ne conseillons d'ailleurs pas l'emploi de l'électricité aux personnes qui veulent réaliser des économies sur leur éclairage domestique; au contraire, nous considérons la lumière par incandescence comme une lumière de luxe, d'un prix très élevé, et nous nous contentons d'en faire ressortir la facilité d'emploi, la propreté exceptionnelle et surtout la parfaite innocuité.

Le développement des procédés pour produire et distribuer l'éclairage électrique en abaissera naturellement le prix, mais dès maintenant, il convient à un très grand nombre de personnes qui en ignorent les précieuses qualités et pour lesquelles une dépense supplémentaire est sans importance.

M. Hammont, à la fin de sa brochure sur la lumière électrique, fait une réflexion très judicieuse:

« Quelle est la mère, dit-il, qui donnerait à son enfant une nourriture qu'elle saurait dangereuse pour sa santé, parce qu'elle l'aurait à meilleur compte? Et, cependant, c'est ce que nous faisons chaque jour en nous éclairant au gaz. »

Moyen d'obtenir la lumière électrique dans les appartements. — Le meilleur moyen d'introduire l'éclairage électrique dans les appartements est évidemment d'avoir recours à une station centrale, dont les directeurs installent les appareils et fournissent le courant, sans aucune interruption, jour et nuit, à toutes les lampes qu'on désire allumer. Mais il n'existe encore que très peu de stations et, comme nous l'avons dit précédemment, celles qui existent font généralement peu ou pas de bénéfices, ce qui n'est guère encourageant pour les industriels qui s'occupent de leur création; il résulte de cet état de choses que ce moyen n'est possible que pour un très petit nombre d'appartements. Nous le signalons parce qu'il est appelé à un bel avenir, sans dissimuler qu'il est aujourd'hui irréalisable dans la pratique courante.

Restent les installations individuelles, dont les solutions très nombreuses peuvent être divisées en deux groupes principaux: 1° celles qui empruntent la puissance motrice à un moteur mécanique ; 2° celles qui utilisent l'énergie chimique à la production des courants.

Parmi les premières, nous citerons les installations avec moteurs à vapeur, qui se sont généralisées en Amérique et en Angleterre, mais qui sont peu usitées en France à cause des règlements de police et des exigences municipales ; celles avec moteurs à gaz dont l'emploi commence à se développer dans toutes les grandes villes ; celles avec moteurs à eau qui conviennent surtout aux centres industrieux de la Suisse et aux communes ayant de l'eau sous pression à bon marché, et celles avec moteurs à air comprimé que les procédés Popp commencent à vulgariser sur nos grands boulevards parisiens.

Parmi les installations avec générateur chimique d'électricité, nous mentionnerons celles fonctionnant à l'aide des piles primaires ordinaires et employées surtout pour les usages temporaires ou pour les très petits éclairages ; celles empruntant le courant à des accumulateurs chargés dans des usines et amenés dans les appartements pour l'illumination des fêtes ; celles où les accumulateurs et les piles se prêtent un mutuel concours, employées pour l'éclairage courant dans les petits appartements ; celles enfin qui fonctionnent à l'aide de piles à circulation systèmes Upward, O'Keenan, Vogler, etc.

Installations mécaniques. — Seules, les installations mécaniques présentent les qualités de sécurité, de propreté et de régularité désirables ; l'emploi des moteurs à gaz parait indiqué dans le plus grand nombre des cas parce qu'ils n'exigent pas l'adjonction d'une chaudière, qu'ils sont faciles à installer, qu'ils peuvent être mis en marche instantanément, et qu'ils ne consomment du gaz qu'autant qu'ils produisent de l'électricité.

Ces installations ne sont réellement complètes et commodes que par l'adjonction d'accumulateurs qui régularisent le débit d'électricité et permettent d'avoir de la lumière constamment, alors que le moteur ne fonctionne qu'à des heures ou même à des jours donnés.

M. Preece, partisan convaincu de l'éclairage électrique, a, l'un des premiers, éclairé sa maison au moyen de lampes à incandescence. Sa petite installation est très réussie ; il en parle toujours avec le même enthousiasme, bien qu'elle fonctionne déjà

depuis quatre années et qu'il ait eu ainsi le temps de s'y habituer.

Nous lui laissons la parole :

« Dans mon jardin, j'ai fait construire une jolie petite maison pour le moteur, et j'y ai logé une machine à gaz de 2 chevaux, qui commande une petite machine Gramme du poids de 100 kilog. environ. Celle-ci me donne un courant suffisant pour mes besoins, 36 ampères avec 42 volts, soit 1 512 watts. Ce courant est envoyé dans des batteries secondaires ou accumulateurs formés de simples plaques carrées de plomb, plongées dans l'acide sulfurique étendu : il y a 17 accumulateurs. Le matin, mon jardinier met en marche le moteur à gaz qui travaille de neuf heures à une heure et emmagasine dans les accumulateurs assez d'électricité pour la soirée et même la nuit suivante.

« A l'intérieur de la maison, le courant est distribué par de gros fils de cuivre avec enveloppe isolante de caoutchouc. Des lampes sont posées dans chaque chambre aux endroits utiles, de manière à répondre à toutes les exigences. Les montures des lampes fixes sont très simples et ingénieuses, pour permettre les remplacements lorsque le filament de charbon est usé. Il y a aussi des lampes mobiles pour descendre à la cave, circuler dans le jardin, ou plus simplement éclairer les recoins des appartements.

« Ces dernières sont alimentées au moyen d'un câble qui se déroule plus ou moins suivant la longueur du trajet.

« Pour éviter tout accident, j'emploie des lampes qui n'ont besoin que d'une force électromotrice de 30 volts. A la porte de chaque pièce, est un commutateur qui permet, avant d'entrer, d'éclairer l'intérieur, et d'éteindre quand on sort. C'est la suppression complète des allumettes.

« Je n'ai pas visé à l'économie, car je tenais avant tout à assurer le service, et j'ai organisé l'éclairage complet de mon habitation. J'estime qu'une maison comme la mienne peut être dotée de la lumière électrique pour une dépense moyenne de 187 fr. 50 par lampe. »

Nous ajouterons que M. Preece a fait installer chez lui plus de 50 lampes, qu'il a dépensé environ 10 000 francs et que parmi ces lampes il n'y en a que 12 d'allumées ensemble, en moyenne,

ce qui fait ressortir le prix d'installation d'une lampe en activité, à plus de 800 francs.

Dans le même ordre d'idées nous signalerons l'installation faite par la Société Édison, dans l'un des plus riches hôtels du quartier de l'Étoile, à Paris.

Une machine à gaz de huit chevaux commande une dynamo de 40 ampères sous 100 volts, dont le courant peut, à volonté, être mis sur les lampes à incandescence ou en communication avec une batterie d'accumulateurs.

L'éclairage comprend 60 lampes de 16 bougies. La batterie se compose de 60 éléments ayant chacun une capacité de 500 ampères-heure et pouvant débiter normalement 30 ampères.

Une pareille disposition permet, le cas échéant, de doubler le nombre de lampes en service. Pour une fête, on peut mettre à la fois en circuit la dynamo et les accumulateurs et alimenter une centaine de lampes toute la nuit.

Nous ne connaissons pas la dépense occasionnée par cette installation, mais au prix actuel des accumulateurs, nous croyons qu'elle représente plus de 40 000 francs, c'est-à-dire 800 francs par lampe.

Comme on peut en juger par ces deux exemples, les frais de premier établissement sont fort élevés; il en est de même des frais d'exploitation qui peuvent facilement atteindre 150 francs par lampe et par an, lorsqu'on y fait entrer l'entretien des accumulateurs.

M. Gramme, qui possède une installation assez complète, dépense environ 1 200 francs par an pour une moyenne de 8 lampes allumées ensemble. Plus de la moitié de cette dépense est nécessitée par l'entretien et le remplacement des accumulateurs.

Les installations par moteurs à vapeur coûtent un peu plus cher que celles effectuées avec des moteurs à gaz, mais par contre elles produisent le courant à un prix bien moins élevé par une intensité lumineuse totale. Il faut les conseiller lorsque l'éclairage comprend au moins 100 lampes de 16 bougies, ou que son fonctionnement annuel dépasse 1 000 heures.

L'eau sous pression et l'air comprimé sont d'un excellent

usage, mais les applications auxquelles ils peuvent concourir, sont si peu nombreuses qu'il est inutile d'en citer des exemples et d'établir leur prix de revient. Quand l'usine parisienne de M. Popp aura pris son entier développement, elle donnera certainement lieu à des installations fort intéressantes, sans cependant acquérir jamais une grande importance, eu égard à l'ensemble des éclairages électriques réalisés par d'autres moyens.

Installations au moyen de la pile. — L'emploi de la pile à la production de lumière électrique ne convient, en aucune façon, pour des éclairages dépassant une dizaine de lampes, et encore faut-il pour que l'usage d'une installation ainsi faite persiste, qu'elle soit entre les mains de personnes soigneuses, un peu habituées aux manipulations chimiques.

Avant de parler des piles bien construites, il nous faut dire quelques mots des lampes électriques portatives.

Lampes électriques portatives. — Il se fabrique depuis quelques années des appareils électriques ayant la forme d'une lampe à huile et dont le socle renferme une petite pile au bichromate de potasse. Ces appareils vendus sous le nom de *lampes électriques*, sont destinés, au dire de leurs inventeurs, à remplacer les lampes à huile, ou les brûleurs à gaz, en usage dans les appartements et les bureaux.

En réalité, les lampes électriques portatives sont de simples jouets sans aucune utilité, qui donnent une lumière très faible pendant quelques heures, qu'on charge deux ou trois fois et qu'on met finalement au rebut après une très courte période de temps. Les marchands qui exploitent ces bibelots, en affirmant la possibilité d'obtenir par leur emploi une lumière convenable, au prix de 10 centimes l'heure, sont pour la plupart des commerçants sans scrupules qui abusent de la crédulité publique et qui changent fréquemment de nom et de domicile pour se soustraire aux justes réclamations des acheteurs et souvent pour dépister la police.

Lampe Tricoche. — Considérées comme des jouets scientifiques, ces lampes ne manquent pas d'un certain intérêt, malgré

leur faible puissance et leur courte durée. Dans des mains habiles, elles peuvent servir de démonstration et permettre de réaliser une des plus belles expériences de la physique moderne : la transformation de l'énergie chimique en chaleur et en lumière ; c'est à ce titre que nous avons essayé l'appareil combiné par M. Tricoche. Cet appareil, qui a des dimensions très restreintes ($0^m,12 \times 0^m,12 \times 0^m,18$) et une forme cubique bien appropriée à sa destination, est muni d'un réflecteur argenté permettant d'éclairer vivement un objet déterminé : livre, feuille de papier, etc., etc. La pile est à quatre compartiments isolés les uns des autres ; son chargement total comprend 120 grammes de bichromate de soude, 300 grammes d'acide sulfurique et 1 200 grammes d'eau.

En faisant passer le courant dans une petite lampe à incandescence, nous avons constaté un débit de 1,33 ampères sous 5 volts pendant quinze minutes, puis de 1 ampère sous 4,8 volts pendant trois heures quinze minutes. L'intensité lumineuse était en moyenne de deux bougies (les petites lampes étaient très poussées).

La dépense, pendant une opération, peut être évaluée à 0 fr. 23, en supposant les substances achetées en gros et à 0 fr. 40, en supposant les substances achetées en détail.

Le prix du cheval-heure ressortait ainsi entre 10 et 20 francs. En ne considérant qu'une expérience, le prix du carcel-heure variait entre 0 fr. 30 et 0 fr. 55 ; mais après 3 ou 4 charges, en tenant compte des déchets et de l'entretien de la pile, ce prix dépassait 1 fr. 20.

Ce résultat n'a rien d'anormal, étant données la grande concentration du liquide employé et les petites dimensions de la pile. Le but de M. Tricoche n'était pas d'ailleurs de faire une lampe pour l'éclairage, mais bien un appareil d'étude pouvant se vendre, garni de sa lampe, une dizaine de francs.

Lampe Trouvé. — Nous avons également essayé un appareil un peu plus grand, de la construction de M. Trouvé. Cet appareil contenait quatre litres de liquide et alimentait pendant six heures une lampe de 1/2 carcel. La dépense a été de 0 fr. 41 par carcel-heure, déchets non compris, en estimant les substances aux prix de gros. Avec les prix de détail et en tenant compte des déchets,

cette dépense eût facilement atteint 1 fr. par carcel-heure. C'est d'ailleurs le résultat constaté par la Société Internationale des Téléphones dans un petit éclairage réalisé au moyen d'une pile du même constructeur.

Éclairages intermittents. — M. Goodwin construit des éléments Leclanché à grande surface de charbon, qui peuvent être utilisés à la production d'une lumière de courte durée.

Une batterie de 20 éléments est suffisante pour alimenter une lampe de 2 bougies prenant 20 volts et 0,4 ampère. Les vases poreux adoptés dans ce cas ont un diamètre de $0^m,074$ et une hauteur de $0^m,16$. Les 20 éléments sont montés en tension; ils occupent un espace de $0^m,70$ sur $0^m,50$.

Cette pile donne un éclairage continu pendant 15 minutes environ le premier mois et pendant 5 ou 6 minutes le reste de l'année; puis elle se polarise; on ouvre alors le circuit, au bout d'une demi-heure de repos, le courant reprend son intensité primitive. Nous en avons installé une dans notre appartement en 1885; elle a duré 18 mois sans avoir besoin d'être rechargée et elle nous a rendu de réels services pour passer, la nuit, d'une pièce à une autre.

Eclairages continus obtenus directement par la pile. — Il est peu de problèmes qui, pendant ces dix dernières années, aient autant surexcité le cerveau des inventeurs, fait dépenser autant d'argent en essais et donné si peu de résultats pratiques que celui de l'éclairage par la pile primaire.

Dans une note assez récente[1] nous avons cherché à expliquer comment l'énergie se répand sur notre globe et comment s'opère le cycle des transformations qui entretient l'activité vitale. La conclusion de notre raisonnement c'est que les matériaux terrestres s'étant successivement combinés entre eux par suite de leurs affinités réciproques, ont dégagé, en se combinant, la plus grande quantité de chaleur possible; qu'il n'existe plus

1. Voir le *Bulletin Technologique* de la Société des Anciens Élèves des Écoles d'Arts et Métiers (mars 1887).

guère de corps susceptibles de donner, par réactions chimiques, du travail à bon compte; qu'en conséquence la pile économique pouvant faire concurrence au charbon dans la production mécanique n'existe pas.

Nous ne sommes donc nullement surpris si toutes les combi-

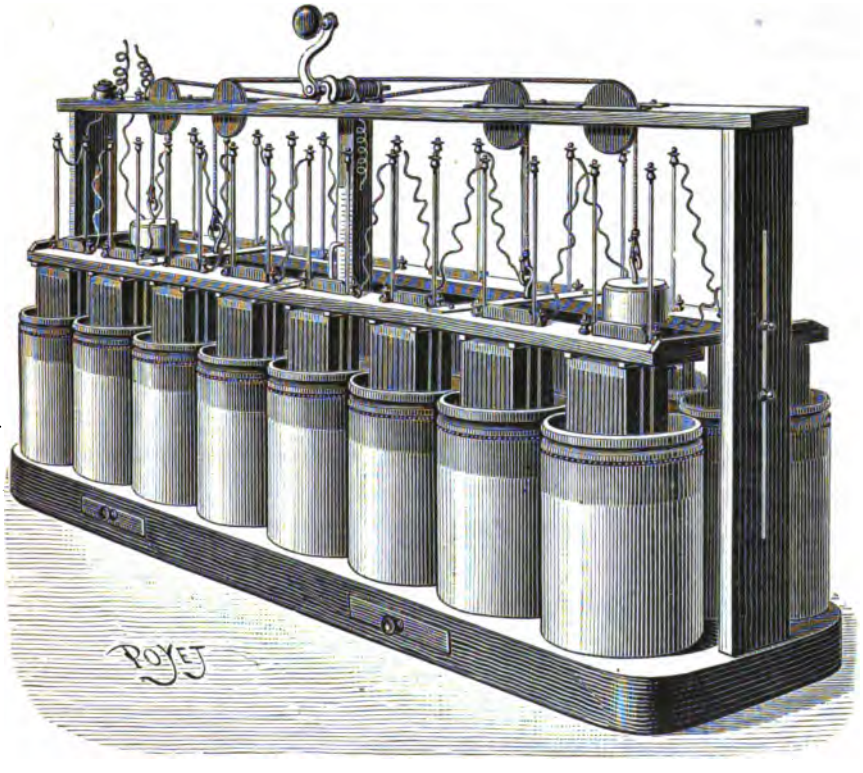


Fig. 312. — Pile Dronier.

naisons proposées pour produire des courants industriels avec la pile, sont demeurées sans aucun résultat, et si les électriciens qui s'occupent spécialement de l'emploi des piles à l'éclairage en soient encore à préconiser la pile au bichromate de potasse ou toutes autres piles aussi anciennes et aussi répandues dans le commerce.

Pile Dronier. — Depuis deux ans nous éclairons un de nos

bureaux à l'aide d'une pile au bichromate de potasse (Fig. 312) dont nous sommes assez satisfait. En voici la description :

A une planchette horizontale ayant $1^m,60$ de longueur et $0^m,40$ de largeur, est fixé un bâti en bois permettant de suspendre les charbons et les zincs hors du liquide, lorsque le circuit est ouvert. C'est là une disposition commune à toutes les piles à treuil, que nous ne relatons que pour en faire remarquer certains détails intéressants. La planchette a une assez grande épaisseur, elle est entaillée en seize endroits pour recevoir de la sciure de bois (aux emplacements mêmes où reposent les vases), de sorte que lorsqu'on retire les vases pour les vider, les zincs et les charbons s'égouttent dans de la sciure et ne tachent pas la planchette.

Les vases au nombre de 16 sont en grès vernissé ; ils ont $0^m,23$ de hauteur et $0^m,18$ de diamètre intérieur.

Chaque élément possède deux plaques de charbons ayant une série d'entailles longitudinales qui en augmentent considérablement la surface.

Les zincs placés entre les plaques de charbons reposent librement sur des taquets en ébonite. Ils sont formés de 97 parties de zinc et 3 de mercure, et coulés en plaques de $0^m,18$ de longueur sur $0^m,09$ de largeur et $0^m,008$ d'épaisseur.

Deux traverses en chêne supportent les zincs et les charbons. Ces traverses sont guidées par les montants du bâti et soutenues par deux cordes, lesquelles s'enroulent sur un même tambour central mis en mouvement par une petite manivelle. Traverses, zincs et charbons sont équilibrés par deux contre poids en fonte qui permettent de manœuvrer le treuil sans effort. Une petite corde supplémentaire, passant sur le tambour et tendue par un fort ressort à boudin, constitue un frein maintenant le tout en place quand on abandonne la manivelle. Ce frein dispense avantageusement du rochet usité dans les autres treuils de piles.

Une aiguille indicatrice suit le mouvement du treuil, et indique, le long d'une échelle graduée disposée *ad hoc*, la quantité exacte dont plongent les zincs au moment considéré.

Chaque vase contient un pain de sel chromique dissous dans quatre litres d'eau. Les zincs étant tous assis sur des taquets faisant corps avec les charbons, leur base se trouve (dans les 16 élé-

ments) à la même distance de la base des charbons. Il suffit donc, lorsque la solution est prête et les vases en place, de manœuvrer le treuil jusqu'à ce qu'un des charbons atteigne, dans son vase, le niveau du liquide, et d'ajouter dans les autres vases la petite quantité d'eau nécessaire pour que tous les charbons touchent également le liquide. De cette façon, on est certain de faire plonger tous les zincs ensemble de la même quantité, et l'on peut régler convenablement la hauteur de l'échelle graduée dont nous avons parlé plus haut.

Les pains chromiques, préparés par M. Dronier, pesaient 600 grammes l'un et renfermaient 400 grammes d'acide sulfurique à 66° et 200 grammes de bichromate de potasse.

Dans une première expérience, nous avons fermé le circuit de la pile sur une lampe Lodyguine de 25 volts donnant exactement un bec carcel d'intensité, et nous avons eu pendant 61 heures un débit régulier de 0,75 ampère avec un enfoncement des zincs qui a varié de 12 à 90^{mm}. La consommation de zinc s'est élevée à 2,033 grammes.

Le prix de revient de la carcel-heure n'a pas dépassé 0 fr. 15 en se basant sur des substances achetées en gros et sans tenir compte des déchets.

Les expériences suivantes ont donné des résultats beaucoup moins favorables, et le prix de revient de la carcel-heure a successivement atteint 0 fr. 20, 0 fr. 25, 0 fr. 30 et 0 fr. 35. Nous avons dû abandonner l'usage des pains chromiques pour charger notre pile avec des produits de premier choix non préparés d'avance.

Aujourd'hui le chargement nous coûte 7 fr. 60 et donne quarante-huit heures de lumière; en ajoutant 2 francs pour la dépense du zinc amalgamé, nous arrivons à une dépense totale de 9 fr. 60 correspondant à 0 fr. 20 par carcel-heure, environ cinq fois le prix du gaz.

Cette dépense est élevée, mais l'appareil est tout à fait pratique; depuis dix-huit mois nous n'avons pas été privé de lumière un seul instant et notre pile fonctionne aujourd'hui aussi bien qu'au début de sa mise en service.

L'installation complète comprend : la pile Dronier, les con-

ducteurs, deux suspensions pour lampes, deux lampes Lodyguine, un voltmètre et un commutateur à trois contacts pour envoyer la lumière dans l'une ou l'autre lampe. Elle a coûté 500 francs.

Pour un bureau, un cabinet d'étude ou un petit laboratoire n'exigeant l'emploi que d'une seule lumière à la fois, la solution dont nous venons de parler est excellente. Elle ne peut être conseillée pour un appartement à cause des manipulations d'acides auxquelles elle donne lieu plusieurs fois par mois.

Éclairage au moyen de piles automatiques. — Les piles au bichromate de potasse, généralement employées pour les petits éclairages, exigent des chargements fréquents et des manœuvres quotidiennes qui ne sont pas sans inconvénients. C'est pour parer à ces inconvénients que plusieurs inventeurs ont imaginé des dispositions plus ou moins ingénieuses pour faire fonctionner leurs piles, pendant très longtemps, sans manipulations.

La pratique n'ayant pas, jusqu'à ce jour, sanctionné définitivement aucune des dispositions proposées, nous ne conseillerons pas l'usage des piles automatiques, mais nous décrirons sommairement celles qui nous paraissent avoir le plus de chances de succès dans l'avenir. Ces piles sont celles de MM. Erhart et Vogler, Edward O'Keenan et Upward.

Pile Erhart et Vogler. — Cette pile est du genre Daniell à circulation. Chacun de ses éléments est formé d'une lame de zinc sur laquelle on place un parchemin, puis un cadre en carton et, sur ce dernier, une feuille de plomb, puis encore une lame de zinc, un parchemin, un cadre en carton et ainsi de suite suivant le nombre d'éléments qu'on désire; on assujettit ensuite le tout entre deux planches au moyen de boulons et d'écrous.

Ces éléments réunis et fixés comme nous venons de le dire, la pile est remplie avec de l'eau pure et mise en communication avec un réservoir parfaitement clos, contenant du sulfate de cuivre en cristaux et une solution saturée de ces cristaux.

La substitution du sulfate de cuivre à l'eau de la pile se fait au moyen de deux tubes en caoutchouc aboutissant à deux petits réservoirs longitudinaux en forme de gouttières garnis d'autant d'ajutages qu'il y a d'éléments ; ces ajutages sont

formés de tuyaux de plumes d'oie plongeant à la partie supérieure de chacun des éléments.

On se rend facilement compte de ce qui se passe : le sulfate

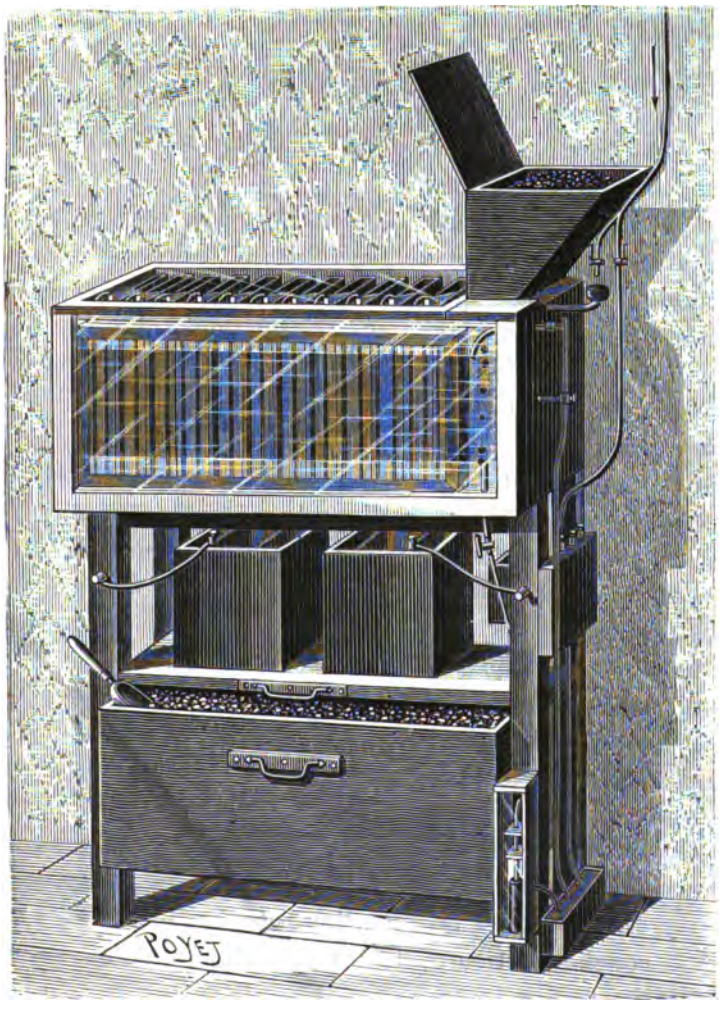


Fig. 313. — Pile Edward O'Keenan.

de cuivre, en raison de sa densité, descend dans le fond de la pile et est remplacé par l'eau qui monte dans le réservoir, où elle se sature de sulfate de cuivre; il se forme donc un double courant fonctionnant constamment.

Il résulte des expériences faites au laboratoire de M. Gramme que cette pile possède une constance et une régularité de marche remarquables, mais qu'elle est sujette à des dérangements fréquents par suite du trop grand rapprochement des éléments entre eux.

Sa force électromotrice est d'un volt.

Les dépenses auxquelles elle entraîne font ressortir le prix du cheval-heure à 4 francs, déduction faite de la valeur du cuivre cristallisé pendant la marche.

Pile Edward O'Keenan. — Cette pile, que nous représentons (Fig. 313), est également du type Daniell ; elle met à profit les différences de densité qui interviennent dans son sein et constitue ainsi une pile à gravité et à circulation. Le sulfate de zinc, qui est le plus dense, occupe toujours la partie inférieure de l'élément, le sulfate de cuivre le milieu et l'eau pure la partie supérieure.

Chaque élément est formé de deux lames de plomb collées sur deux lames de verre et d'une lame de zinc entourée d'une gaine de papier parchemin ouverte en haut et en bas. Ces deux lames de verre, qui entrent dans des rainures *ad hoc*, analogues à celles des égouttoirs photographiques, servent de supports à quatre lames de plomb, dont deux appartiennent à l'élément considéré, et les deux autres aux éléments précédant et suivant cet élément. Le liquide de la pile est divisé en trois couches aussi distinctes par leurs différentes densités que par leur différence d'aspect.

La couche supérieure, de 1 à 2 centimètres d'épaisseur, est de l'eau pure; la couche intermédiaire, occupant presque toute la hauteur de la pile, est une solution saturée de sulfate de cuivre; enfin la couche inférieure, de 1 à 2 centimètres d'épaisseur, est une solution presque saturée de sulfate de zinc, plus dense que la solution de sulfate de cuivre. En fermant le circuit, le sulfate de cuivre est décomposé en cuivre métallique qui se dépose sur le plomb, tandis que l'oxygène et l'acide, traversant la gaine poreuse, vont former du sulfate de zinc; ce sulfate de zinc, augmentant la densité du liquide de la gaine, le fait descendre au fond de l'élément; cette descente détermine un appel d'eau

pure prise à la partie supérieure, tandis qu'une portion du sulfate de zinc plus dense, qui occupe la partie basse de la gaine est refoulée à l'extrémité de ladite gaine, et se répand dans le fond de l'élément, où il élève d'autant l'épaisseur de la couche inférieure de sulfate de zinc.

La provision de zinc étant assurée pour longtemps, au moment du montage de la pile, par l'emploi de lames épaisses, il faut, pour obtenir le fonctionnement indéfini de la batterie : 1° entretenir la saturation de la solution de sulfate de cuivre; 2° rejeter à l'égout ou au ruisseau le sulfate de zinc; 3° renouveler l'eau pure qui s'est chargée de sulfate de zinc en descendant dans l'enveloppe de papier parchemin.

M. O'Keenan a réalisé ces trois conditions au moyen de dispositions fort ingénieuses qui assurent à sa pile un long fonctionnement sans qu'on ait besoin de remplacer autre chose que les zincs.

MM. Mors, concessionnaires des brevets O'Keenan à Paris, ont une pile qui marche depuis plus de 2 500 heures dans de bonnes conditions.

Pile Hupward. — Dans l'élément de cette pile l'électrode négative (en zinc non amalgamé) est placée dans un vase poreux rempli d'une dissolution de chlorure de zinc; l'électrode positive, contenue dans le vase extérieur de la pile qui est en terre vernissée, se compose de plaques de charbon entre lesquelles sont tassés des morceaux de charbon de cornue. Le courant électrique est produit par l'action d'un courant de chlore gazeux qui attaque le zinc. Chaque vase en grès porte trois tubulures : la première, placée à la partie inférieure, sert à l'arrivée du gaz; la seconde sert à sa sortie et communique par un tube en plomb avec la tubulure d'arrivée de l'élément suivant, de telle sorte que les éléments se trouvent disposés en cascades; enfin la troisième sert à écouler le trop-plein de la solution saturée de chlorure de zinc qui suinte lentement à travers le vase poreux dans le vase extérieur. Une couche de ciment ferme hermétiquement la partie supérieure de la pile et ne laisse ouvert que le vase poreux.

Lorsque le circuit électrique est fermé, il y a consommation de chlore dans tous les éléments; il s'y produit un vide qui aspire

une nouvelle quantité de gaz. Le renouvellement est donc automatique.

Le tube de sortie du dernier élément plonge dans l'eau d'un flacon à trois tubulures, de façon à empêcher une rentrée d'air par suite du vide partiel existant à l'intérieur des batteries.

D'un autre côté, ce vide s'oppose à l'échappement du chlore dans l'atmosphère.

Si le chlore était absolument pur, il n'y aurait aucun entretien, l'arrivée du gaz se faisant automatiquement. Mais, en pratique, il n'est pas possible d'éviter le mélange avec une petite quantité d'air (environ 3 pour 100) qui s'accumulera tout d'abord dans le dernier élément. La force électromotrice de cet élément faiblira donc avant que les autres soient affectés le moins du monde; le système est disposé de manière que cette variation entraîne l'ouverture automatique d'un aspirateur, placé à la fin de la chaîne, après le flacon à trois tubulures. Il y a ainsi évacuation de l'air accumulé.

A cet effet, la soupape qui commande l'écoulement de l'eau destinée à faire le vide, est actionnée par l'armature d'un électro-aimant dans lequel un relais envoie le courant du dernier élément, dès que celui-ci diminue au-dessous de sa valeur normale.

Lorsque la pile marche régulièrement, l'aspirateur est mis en marche pendant trente secondes, à des intervalles variant de une à trois heures, suivant la pureté du gaz. La quantité d'eau employée est, par suite, excessivement faible; il n'y a donc perte ni d'eau ni de gaz.

A sa sortie des générateurs et avant d'arriver à la batterie, le chlore est emmagasiné dans de grands réservoirs; ceux-ci consistent en plusieurs colonnes de tuyaux ordinaires de drainage en terre, cimentés ensemble et goudronnés extérieurement.

Le gaz chlore, qui est deux fois et demie plus lourd que l'air, passe du générateur dans la première colonne par un tube disposé à la partie inférieure, chasse l'air, se rend dans la seconde colonne par un tube de plomb débouchant à la base de cette dernière, la remplit de gaz de bas en haut, et ainsi de suite, le

nombre de colonnes dépendant de la quantité de gaz que l'on veut emmagasiner (chaque colonne de tubes de 0^m22 de diamètre, pleine de chlore, équivaut à environ 460 watts-heure). Chacun des tubes de plomb est muni d'un regard en verre, peint en blanc à la partie postérieure, ce qui permet de voir immédiatement combien il y a de colonnes remplies de gaz; la couleur bien tranchée du chlore se distinguant nettement sur le fond blanc. La dernière colonne est munie à sa partie supérieure d'un tube de sortie.

Des dispositions sont prises pour que la fabrication du chlore ne puisse donner lieu à aucun ennui.

La force électromotrice de la pile Upward est de 2,1 volts; elle est constante tant qu'il y a fourniture de chlore. En général, la batterie n'est pas employée directement à l'éclairage; elle est utilisée jour et nuit à la charge d'accumulateurs, et ce sont ces derniers qui alimentent les lampes.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

NOTIONS GÉNÉRALES

CHAPITRE PREMIER

ÉNERGIE ET ÉLECTRICITÉ

	Pages.
INTRODUCTION. Conservation de l'énergie	1
Électricité. Action réciproque des corps électrisés	3
Potentiel, Force électromotrice, Intensité, Résistance	4
Unités électriques : Volt, Ohm, Ampère, Coulomb	7
Loi d'Ohm	9
Conducteurs. Résistance des métaux usuels	10
Résistance des corps non métalliques	13
Chaleur développée dans un conducteur	14
Travail et puissance d'un courant. Watt	15
Circuits complexes. Circuits dérivés. Règles de Kirchhoff	17

CHAPITRE II

PILES ET ACCUMULATEURS

Pile Volta	21
Examen d'un circuit	23
Force électromotrice d'une pile	24
Résistance. Débit	25
Piles Daniell, Bunsen, au bichromate	25
Groupement des éléments d'une pile	29
Calcul de la force électromotrice d'une pile	30
Accumulateurs. Formation lente. Formation rapide	31
Piles thermo-électriques	34

CHAPITRE III

MAGNÉTISME ET INDUCTION

Aimants. Hypothèse d'Ampère. Théorie de Hugues	37
Méridien magnétique. Champ magnétique d'un aimant	39
Lignes de force. Lois de Faraday	40
Champ magnétique uniforme	42
Moment magnétique d'un barreau	42
Actions réciproques des courants et des aimants	43
Actions magnétiques des courants sur les courants	44

Pages.
Champ magnétique d'un courant 44
Solénoïde. Electro-aimant 44
Magnétisme rémanent 46
Métaux magnétiques 46
Courants d'induction. Lois de Lenz et de Maxwell. 49
Méthode pour déterminer le sens d'un courant induit. 51
Induction mutuelle des courants 52
Induction d'un circuit sur lui-même 52
Courants de Foucault 53
Disque de Faraday. Expérience de Page. 53

CHAPITRE IV

GÉNÉRATEURS MÉCANIQUES D'ÉLECTRICITÉ

Des induits 55
Machine simple théorique 57
Collecteur et commutateur. 58
Machine à bobine rectangulaire 60
Principe des machines à induits annulaires. 61
Principe des machines à solénoïdes 65
Machines à électro-aimant : Pixii, Clarke, Siemens, Pacinotti 65
Des inducteurs 72
Aimants permanents. Aimants multiples. 72
Aimant Jamin. Aimants en acier comprimé 73
Électro-aimants 75
Auto-excitation. 75
Excitation en série. Changement de polarité 77
Excitation en dérivation. 79
Influence du mode d'excitation sur le débit. 80
Excitation compound. 81
Métal des inducteurs. 82
Forme des électro-aimants 83

CHAPITRE V

ÉLECTROMÉTRIE

Instruments de mesure. Galvanomètres 90
Boussoles des tangentes et des sinus. 91
Galvanomètre astatique 93
Galvanomètres W. Thomson, Deprez et d'Arsonval. 93
Mesure de l'intensité. 96
Ampèremètres Deprez, Carpentier, W. Thomson, Ayrton et Perry, Weston, Lippmann. 96
Electro-dynamomètres Siemens, d'Arsonval. 101
Voltamètres 106
Mesure des différences de potentiel. 107
Voltmètres Deprez, Carpentier, Ayrton et Perry, W. Thomson, Ross, Javaux, Egger, Imhof 107
Mesure de la force électromotrice d'une pile. 112
Mesure de la force électromotrice d'une dynamo 113
Mesure des résistances 114
Résistance d'une pile. Résistance d'une dynamo 117

Pages.
Mesure de la quantité. Voltamètres 118
Compteurs Édison, Aron, Cauderay, Jacquemier 120
Mesure de l'énergie et du rendement. 123
Évaluation du travail. Mesure de la puissance. 123
Rendement électrique et rendement mécanique 124
Mesure du rendement mécanique 126

CHAPITRE VI

ARC VOLTAÏQUE

Arc voltaïque : aspect, longueur, température 129
Sifflement de l'arc 136
Propriétés chimiques de l'arc 136
Actions des aimants et des courants sur l'arc 137
Baguettes de charbon de cornue 137
Charbon artificiel. 138
Charbon cuivré 141
Régulateurs 142
Bougies électriques 144

CHAPITRE VII

INCANDESCENCE

Lumière par incandescence 146
Rôle de la température dans l'incandescence 147
Nature des conducteurs incandescents 148
Nature du milieu. 149
Couleur de la lumière 150
Dimensions des filaments 151
Radiations lumineuses et radiations obscures. Rendement optique. 152
Intensité lumineuse. Durée des lampes 154
Degré du vide. 158
Anciennes lampes : à spirales, à baguettes, à filament 159
Lampes brûlant à l'air libre 164

CHAPITRE VIII

PHOTOMÉTRIE

Objet de la photométrie. 169
Unités et étalons photométriques usuels. 170
Unité de lumière 171
Étalons : Hefner-Alteneck, Vernon-Harcourt. 172
Photomètres : Rumfort, Bouguer, Foucault 173
Photomètres Degrand, Bunsen, Thompson, Cornu, Napoli 175
Photomètre à dispersion Ayrton et Perry 181
Photomètre Wybauw, Fizeau, Siemens, Coulon. 182
Mesure de la lumière de l'arc voltaïque 184
Mesure de l'intensité des lampes à incandescence 187
Mesure de la lumière diffuse 188
Lumière nécessaire pour lire et écrire 189
Photomètre Weber 189
Remarque sur la photométrie 193

DEUXIÈME PARTIE

APPAREILS INDUSTRIELS

CHAPITRE IX

DYNAMOS A COURANT CONTINU

Pages.
Machine Gramme. Construction. Balais 195
Machine Gramme de 1869 196
Diverses machines Gramme : type vertical, type normal, à cinq lumières, carré, cylindrique, octogonal 201
Machine Gramme type supérieur 212
Remarque sur les travaux de M. Gramme 214
Machines Siemens 216
— Édison. 222
— Bréguet 227
— Jaspar. 228
— Thomson-Houston 231
— Schuckert. 241
— Elphinstone et Vincent. 242
— Bürgin. 242
— Crompton 243
— Brush 244
— Mac-Tighe. 247
— Lontin 248
— Andrews 250
— Weston. 250
— Manchester 253
— Westminster 255
— Phœnix 256
— Clarke. 256
— Thury. 257

CHAPITRE X

DYNAMOS A COURANTS ALTERNATIFS

Machines de l'Alliance 261
— Wilde 264
— Dandeu et Chertemps 264
— Gramme 265
— de Méritens 270
— Siemens 274
— Ferranti 275
— Gordon. 277
— Jablochkoff 278
— Zipernowsky-Deri 278

CHAPITRE XI

RÉGULATEURS A ARC

Appareils usités en France : Serrin, Lontin, Foucault, Gramme, Bréguet, Cance, de Mersanne, A. Gérard, Mondos, Gravier 281

Pages.
Appareils usités en Amérique : Brush, Weston, Thomson-Houston 308
Appareils usités en Belgique : Jaspar, Pieper 326
Appareils usités en Angleterre : Crompton, Rogers, Lever 326
Appareils usités en Allemagne : Siemens, Fein, Hauck, Wengel, Poege, Pilsen, Zipernowsky, Gülcher, Kremensky. 334
Appareils divers : Lacassagne, Stocher, Leibold, Brockie, Rapieff, Hedges, Solignac, Tchikoleff, Gray, Édison, Ascheroldt, Létang, Street et Maquaire, Schneider, Menges, Hawkes, Carré, Regnard, Girouard, Maxim, Dubos, Marcus, Dion, Berjot, Jurgensen, Mornat, Abdank-Abakanowicz, Fesquet et Ostrorog, Jamar-Chabot, Lahmeyer. 350
Dates de l'invention des principaux organes des régulateurs 374

CHAPITRE XII

BOUGIES ÉLECTRIQUES

Bougies Jablochkoff et leur fabrication 376
Intensité lumineuse 381
Chandelier Jablochkoff 381
Chandeliers à commutateurs et à dérivation. 382
Chandeliers Clariot et Bobenrieth. 386
Bougie Ignatiew 386
— Million. 388
— Jamin 388
— Wilde 390
Lampe soleil 391
Appareil Tihon et Rezard 394

CHAPITRE XIII

LAMPES A INCANDESCENCE

Lampes Édison et leur fabrication. 396
Appareillage Édison 404
Lampes Swan 404
— Maxim 407
— Lane Fox. 408
— Weston 410
— Bernstein 414
— Cruto. 417
— Gérard 419
— Woodhouse et Rawson 420
— Puluj. 421
— Lodyguine 422
— Siemens 423
— à grande intensité lumineuse 424

CHAPITRE XIV

CONDUCTEURS

Lignes électriques 426
Fabrication des filets et des câbles. 427
Armatures en fil de fer ou d'acier. 429

Pages.
Garnitures en plomb 429
Câbles Siemens 431
Conducteurs Édison 431
Jonction des conducteurs 433
Conducteurs souterrains aux États-Unis 437
Coupe-circuits. 438
Câbles de dérivation. Câbles intermédiaires. 440
Montage des lampes à arc 440
— — incandescence. 444
— combiné de régulateurs et de lampes à incandescence 446
Couplage des dynamos 448
Dimensions des conducteurs 452
Distribution à trois conducteurs 454
Compensateur Thomson 455
Circuit de sûreté. 457
Distribution Lane Fox 458
Tableaux de distribution 458
Transformateurs 461
Transformateurs Gramme, Jablochkoff, Bright, Cabanellas 463
— Gaulard et Gibbs 466
— Zipernowsky 470
— Diehl 474
— Paris et Scott. 476
— Édison. 476
— Westinghouse 476
— divers 478
Distributions avec emploi des transformateurs. 478

TROISIÈME PARTIE

PRIX DE REVIENT

CHAPITRE XVI

TRAVAIL ABSORBÉ DANS L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Rendement des dynamos, des conducteurs et des brûleurs 483
Rendement lumineux de l'arc voltaïque 492
— des lampes à incandescence 496
Effet utile de la houille convertie en lumière électrique 498

CHAPITRE XVII

DÉPENSES D'INSTALLATION

Nature des frais de premier établissement 500
Prix des dynamos. 501
— régulateurs à arc 503
— lampes à incandescence 503
— conducteurs. 504
— de l'appareillage 505
— d'installation par arc (exemples divers) 508

Pages.
Éclairage au moyen de bougies (exemples divers) 511
— au moyen de lampes à incandescence 515
Devis généraux pour installations particulières. 514
— — industrielles 513
Exemples d'installations 516
Installations Édison 518
Prix des accumulateurs 519

CHAPITRE XVIII

DÉPENSES D'EXPLOITATION

Prix de revient de l'éclairage électrique 521
Force motrice 521
Crayons pour régulateurs 522
Bougies. 524
Lampes à incandescence 524
Dépenses diverses. 526
Amortissement. 526
Dépense totale 527
Calculs de M. Decker. 528
Exemples divers 529

QUATRIÈME PARTIE

APPLICATIONS

CHAPITRE XIX

INSTALLATIONS PRIVÉES

Classification des applications 537
Premières installations d'éclairage électrique 538
Éclairage des magasins 543
— usines 552
— par réflexion. 558
— dans les caissons de fondation. 558
Commande de dynamos par courroies courtes 560
Exposition de Manchester 561
Exposition universelle de 1889 562

CHAPITRE XX

ÉCLAIRAGE DES THÉATRES

Avantages de l'éclairage électrique dans les théâtres 565
Hippodrome de Paris. 568
Théâtre de Brünn. 571
— de la Scala à Milan 573
Opéra de Paris 577

CHAPITRE XXI

STATIONS CENTRALES

Pages.
Considérations générales sur les stations centrales. 583
Stations centrales aux États-Unis (Détroit, Minneopolis, New-York, Stations Édison et Th mson-Houston). 586
Progrès de l'incandescence aux États-Unis 593
Stations centrales en France 595
— Allemagne 609
— Italie (Milan, Rome) 614

CHAPITRE XXII

APPLICATIONS A LA NAVIGATION

Éclairage intérieur des navires 620
— du paquebot « l'Océanien ». 622
— de « l'Indomptable ». 628
Navigation de nuit dans le Canal de Suez 631

CHAPITRE XXIII

ÉCLAIRAGE DES PHARES

Premières applications 637
Développement de l'éclairage électrique dans les phares. 638
Expériences pour augmenter la portée des feux 641
— exécutées en 1885 en Angleterre 642
— de M. Allard 644

CHAPITRE XXIV

APPLICATIONS AUX OPÉRATIONS MILITAIRES

Premières applications 645
État actuel du matériel de guerre. 653
Applications aux navires de guerre 655
Matériel actuel des navires de guerre. 660

CHAPITRE XXV

INSTALLATIONS DOMESTIQUES

Avantages de l'éclairage électrique dans les appartements 662
Moyens de l'obtenir 664
Installations mécaniques 665
Installations au moyen de la pile 668
Éclairage au moyen de piles automatiques (Erhart et Vogler, Edward O'Keenan, Upward) 674

Paris. — Maison Quantin, 7, rue Saint-Benoît.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

Eng 4128.88.3
Eclairage a l'electricite :
Cabot Science 004980254
3 2044 091 978 510